

LA-ICP-MS Zircon U-Pb Ages and Geochemical Characteristics of the Shadi Granitic Pluton in Southern Jiangxi and Their Tectonic Significance

Chunlin Luo, Gaofeng Liu

Geological Survey of Jiangxi Province, Nanchang Jiangxi
Email: 673747343@qq.com

Received: Jun. 5th, 2017; accepted: Jun. 25th, 2017; published: Jun. 28th, 2017

Abstract

This study conducted analysis on the Shadi granitic pluton in the Shadi area, southern Jiangxi Province using LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, petrological and geochemical methods. The results show that the zircon U-Pb ages of the positive long granite in the studied areas are 428.3 ± 5.9 Ma, indicating the Shadi granitic pluton formed in Early Silurian. Geochemical result shows that the Shadi granitic pluton has ACNK of 1.07 - 1.19 and K_2O/Na_2O of 1.07 - 1.73, suggesting that they belong to peraluminous rock. The pluton has a total REE content of $(169 - 244) \times 10^{-6}$, and is enriched in LREE, with distinct right oblique REE patterns, Eu values of 0.10 to 0.40 and obvious negative Eu anomaly. The REE analysis shows the pluton is enriched in Rb, Th, U, La, Ce, Nd, Zr, Hf and Sm, and depleted in Ba, Sr and Ti, with Rb/Sr ratio of 2.90 - 7.28 (averaging 5.12) obviously higher than the average values of continental crust and the upper crust, suggesting that the pluton is of the characteristics of crust derived granite. The Shadi granite pluton might result from the Caledonian movement of late Early Paleozoic, and broke up after collision matching between Cathaysian land mass and Yangtze land mass. S-type granitic magmas, formed by partial melting of the upper crust in the period of Ordovician to Silurian, ascended to the upper crust and yielded the Shadi granite pluton in the period of collision to post-collision.

Keywords

LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating, Geochemistry, S-Type Granite, Caledonian Movement, Shadi Granitic Pluton, Southern Jiangxi

赣南沙地花岗岩体LA-ICP-MS锆石U-Pb年龄、地球化学特征及构造意义

罗春林, 刘高峰

文章引用: 罗春林, 刘高峰. 赣南沙地花岗岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及构造意义[J]. 地球科学前沿, 2017, 7(3): 411-422. <https://doi.org/10.12677/ag.2017.73045>

江西省地质调查研究院, 江西 南昌
Email: 673747343@qq.com

收稿日期: 2017年6月5日; 录用日期: 2017年6月25日; 发布日期: 2017年6月28日

摘要

本文对赣南沙地地区沙地花岗岩体中的正长花岗岩进行了LA-ICP-MS锆石U-Pb定年、岩石学和地球化学研究。结果表明: 正长花岗岩锆石U-Pb年龄为 $428.3 \pm 5.9\text{Ma}$, 表明沙地花岗岩体形成于早志留世; 地球化学特征显示: 沙地花岗岩体的铝饱和指数为 $1.07\sim 1.19$, K_2O/Na_2O 为 $1.07\sim 1.73$, 属过铝质岩石; 稀土元素总量为 $(169\sim 244) \times 10^{-6}$, 轻稀土元素富集, 稀土配分模式呈明显的右倾型; δEu 为 $0.10\sim 0.40$, Eu亏损中等偏高; 岩体中Rb、Th、U、La、Ce、Nd、Zr、Hf及Sm相对富集, Ba、Sr及Ti相对亏损; 岩体Rb/Sr为 $2.90\sim 7.28$, 平均值为5.12, 明显高于大陆地壳平均值和上地壳平均值, 具壳源花岗岩特征。沙地花岗岩体形成于早古生代晚期的加里东构造运动, 是华夏地块与扬子地块在新元古代碰撞拼贴之后发生裂解, 在奥陶纪至志留纪上地壳部分熔融形成的S型花岗质岩浆, 在碰撞到后碰撞过渡期上升至上地壳形成的花岗岩体。

关键词

LA-ICP-MS锆石U-Pb定年, 地球化学, S型花岗岩, 加里东运动, 沙地花岗岩体, 赣南

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中国地质调查局在赣南地区地质调查项目的实施, 大大提高了赣南地区岩浆岩的研究程度, 赣南地区位处南岭东西向构造——岩浆带的东段, 加里东期岩浆活动非常强烈, 以花岗岩为主, 属华南陆内加里东期花岗岩[1]。华南加里东期花岗岩主要集中分布于赣粤湘交界的万洋山——诸广山地区、赣闽交界的武夷山两侧及江西境内武功山地区[2]。近期前人采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年[3]、SHRIMP 锆石定年[4]等获得华南加里东期花岗岩主要形成于 $470\sim 382\text{Ma}$ [5] [6]。华南加里东期花岗岩主要为块状花岗岩, 其次为发育片麻状构造的花岗岩, 两者具有相似的形成年龄[7] [8]。华南地区加里东期花岗岩成因及形成构造背景的研究存在明显分歧, 主要有两种认识: 1) 陆内造山模式, 如沈渭洲等[9]认为华南加里东期花岗岩形成于板内造山环境, 舒良树等[10] [11] [12]认为华南加里东期造山带是震旦—早古生代巨厚沉积物褶皱造山形成; 李献华等(2014) [13]认为造山前的南华纪盆地及部分前陆盆地沉积经板内逆冲作用, 将这些盆地沉积单元埋深到中地壳, 并引发一系列岩浆和变质作用; 周新民[14]及王德滋[15]认为花岗岩的形成与岩浆发生在较深且闭合的非伸展环境有关。2) 陆—陆碰撞造山模式, 尽管冈瓦纳的汇聚主要发生在新元古代晚期到寒武纪[16] [17] [18], 陈相艳等[19]认为一些位于冈瓦纳大陆边缘的微小的陆块向冈瓦纳汇聚可能持续到志留纪。张传林等[20]认为华夏古陆为典型的碰撞型造山带, 而并非板内带, 包括华南在内的冈瓦纳大陆边缘一些微大陆或地体的合并可能沿大陆边缘持续进行直至 $450\sim 430\text{Ma}$ 。

赣南沙地地区沙地花岗岩体处于华南加里东期花岗岩带中, 江西省地质局区域地质调查大队(1974)[21]认为沙地花岗岩体是燕山早期规模巨大的酸性岩浆活动的产物, 笔者在进行“江西 1:5 万遂川县(G50E011003)、良口(G50E011004)、横市井(G50E012003)、夏府(G50E012004)幅区调”时, 对沙地地区出露的加里东期沙地花岗岩体进行了详细的野外特征观察和室内岩石学、元素地球化学以及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年研究, 认为沙地花岗岩体是在早志留世脉动式侵位形成的, 属奥陶纪至志留纪上地壳部分熔融形成的 S 型花岗质岩浆, 在碰撞到后碰撞过渡期上升至上地壳形成的花岗岩体, 反映这个时间也是华南加里东运动(广西运动)发生的时期, 从而为进一步深入研究华南加里东期花岗岩形成及华南地区加里东构造属性提供参考。

2. 地质背景与岩体特征

沙地花岗岩体位于赣南之北部沙地地区, 大地构造属华夏板块罗霄褶皱带[22]中部。岩体呈近似椭圆等轴状, 岩株状产出, 出露面积约六十平方千米。区域内褶皱基底为一套浅变质沉积地层, 主要出露南华纪沙坝黄组浅海陆棚边缘斜坡相浊流沉积的复成分砂砾岩建造, 震旦纪坝里组次深海类复理石泥、砂质沉积建造及老虎塘组类复理石泥、砂质碎屑夹硅质沉积建造, 寒武纪牛角河组次深海碎屑岩-炭质泥岩建造和高滩组浅海-次深海相浊流沉积建造及水石组浅海-次深海碎屑岩、泥质岩及碳酸盐岩建造。沉积盖层奥陶纪-志留纪地层缺失, 泥盆纪地层以高角度不整合于寒武纪地层之上。伴随加里东运动, 南华纪-寒武纪基底褶皱地层以原始层理面为主要变形面, 表现为一系列规模不等褶皱轴迹轴向多呈近南北向弧形略向西凸出延伸的紧密线形倒转褶皱, 可见次级复背斜、复向斜、背斜、向斜交替出现, 且大多数背斜东翼倒转, 同时形成了大规模的花岗岩体。沙地花岗岩体侵入震旦纪坝里组、老虎塘组及寒武纪牛角河组浅变质砂岩、板岩、硅质板岩、千枚岩之中, 与燕山期花岗岩呈侵入接触关系(如图 1)。侵入体与围岩侵入界线清楚, 接触面不大平整, 呈波状, 局部呈港湾状, 接触面产状外倾, 倾角 $30^{\circ}\sim 55^{\circ}$, 在接触面内侧见有 30~40 cm 的冷凝边, 岩性为微细粒黑云母正长花岗岩, 内接触带见有围岩的残留体或捕虏体, 岩性为角岩化砂板岩或角岩, 残留体大小不一, 长宽一般为 $10\times 15\text{ m}$, 外接触带见宽 1.5 km 左右的较强角岩化带。

沙地花岗岩体分别由水边细粒斑状黑云母正长花岗岩、新屋子中细粒斑状二云二长花岗岩及早禾坑中粗粒黑云二长花岗岩等三个岩石单元组成。

水边细粒似斑状黑云母正长花岗岩体(如图 2(a))具细粒似斑状花岗结构, 块状构造, 主要由微斜条纹长石(45%~54%)、斜长石(20%~25%)、石英($\pm 22\%$)、黑云母(2%~3%)组成, 斜长石多发生绢云母化, 黑云母具绿泥石化; 新屋子中细粒似斑状黑云二长花岗岩体(如图 2(b))具中细粒似斑状花岗结构, 块状构造, 主要由斜长石(35%~45%)、微斜条纹长石(30%~35%)、石英(15%~22%)、白云母(3%~5%)、黑云母(3%~5%)组成, 斜长石多发生绢云母化; 早禾坑中粗粒黑云二长花岗岩体具中粗粒花岗结构, 块状构造。主要由斜长石(20%~30%)、微斜条纹长石(30%~40%)、石英(20%~28%)、白云母(1% $\pm$)、黑云母(4%~5%)组成, 斜长石多发生绢云母化。

3. LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年

3.1. 样品及分析方法

本次测年样品采自赣县沙地镇铜锣湾村南约 400 米 105 国道旁, 采集样品 1 件(样品编号 7101, 坐标: $114^{\circ}50'47''$ 、 $26^{\circ}04'07''$), 样品岩性为细粒黑云母正长花岗岩, 其组成矿物为钾长石(属微斜长石, 约 54%)、斜长石(约 20%)、石英($\pm 22\%$)和白云母($\pm 1\%$)及(黑云母 $\pm 3\%$), 副矿物主要有磷灰石(微)及锆石(微)等。样品较新鲜且无矿化蚀变。人工重砂分离锆石由南昌矿产资源监督检测中心完成, 人工重砂分离出的锆石

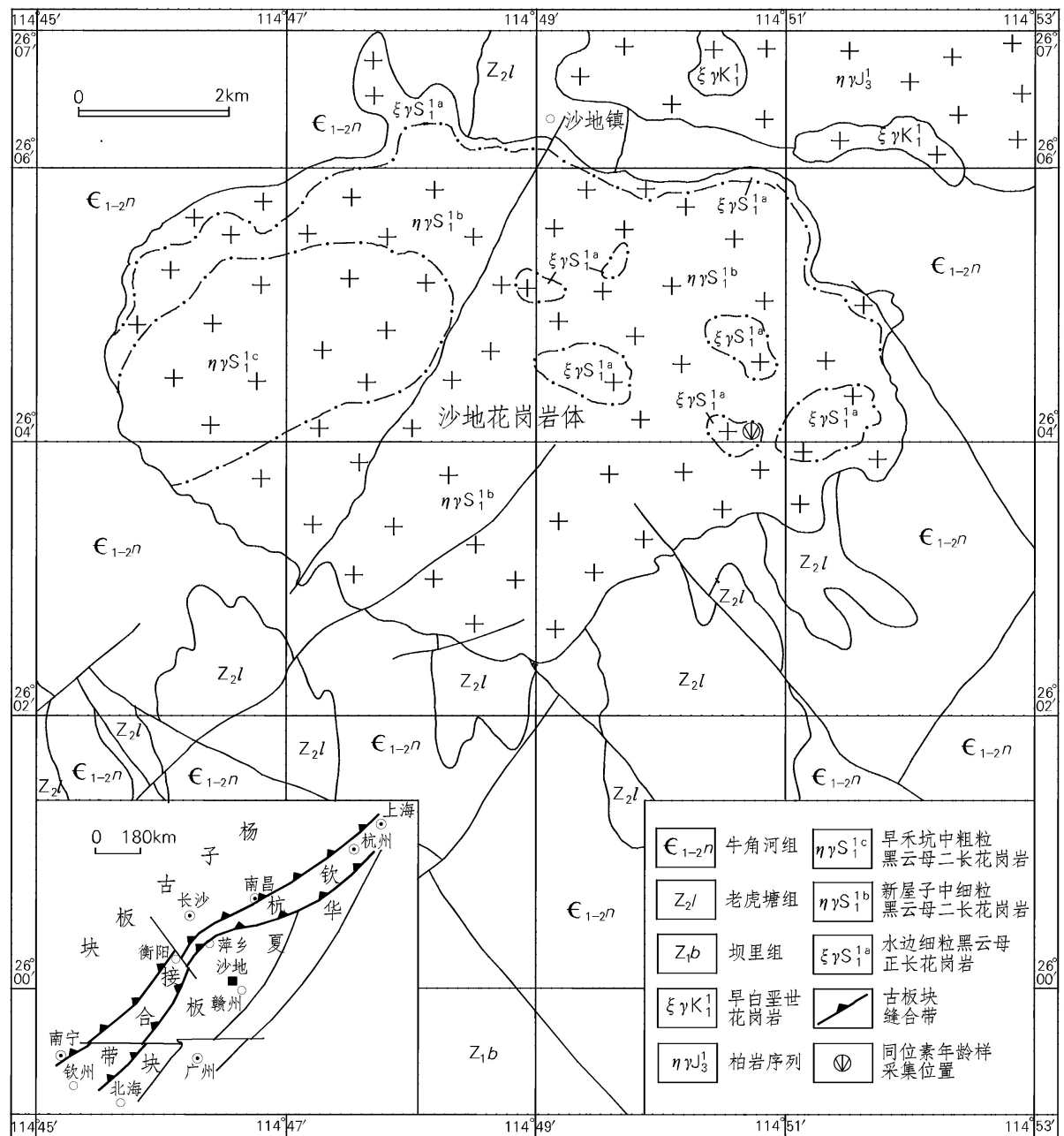


Figure 1. Generalized geologic map of the Shadi area, southern Jiangxi Province

图 1. 赣南沙地地区地质简图

以自形晶为主, 锆石颜色较单一, 多呈灰褐色, 透明 - 半透明, 金刚光泽, 晶体为四方柱与四方双锥之聚形形态, 锆石晶体表面局部见有细小的熔蚀沟及熔蚀坑但无磨圆现象。锆石阴极发光(CL)分析及锆石 CL 实验在西北大学大陆动力学国家重点实验室完成, 根据阴极发光照射结果选择了典型岩浆锆石进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年分析, 定年分析由南京大学内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室采用 ICP-MS (型号为 Agilent 7500a 型) 及 New Wave 公司生产的 UP213 固体激光剥蚀系统完成。U-Pb 分馏根据澳大利亚锆石标样 GEMOC GJ-1 (207Pb/206Pb age of 608.5 ± 1.5 Ma) (Jackson S E, et al., 2004) 进行校正。U-Pb 年龄和 U、Th、Pb 的计数由 GLITTER 软件(ver.4.4) (www.mq.edu.au/GEMOC) 在线获得[23]。普通

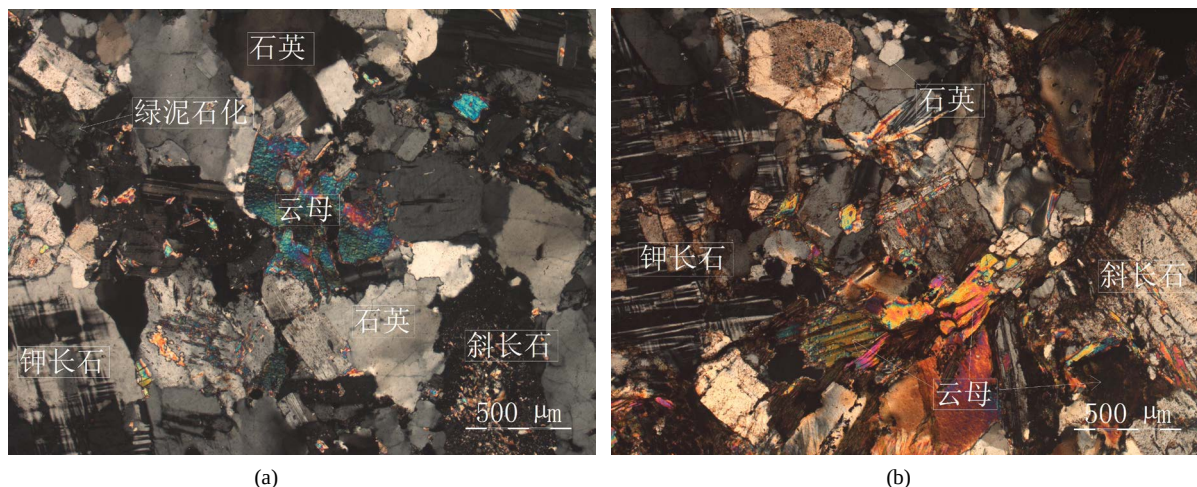


Figure 2. Photomicrographs showing medium-grained biotite monzogranites from samples b7101 (a) and b8932 (b) in the Shadi granitic pluton

图 2. 沙地花岗岩体显微照片(a)细粒似斑状黑云母正长花岗岩(b7101)显微照片(b)中细粒似斑状黑云二长花岗岩(b8932)显微照片

铅校正采用 Andersen T. [24]的方法进行校正, 其结果用 Isoplot 程序(V.3.23)完成年龄计算和谐和图的绘制[25]。

3.2. 结果

本次采用 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年法进行同位素测年, 选定的 7101 样品锆石形态自形, CL 图像显示结构单一, 岩浆环带清晰, 锆石明显具有振荡韵律环带结构, 属岩浆成因锆石(如图 3), 共测定了 10 个锆石点年龄, 测定结果见表 1。在 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U} \sim ^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ 年龄谐和图上(如图 4), 样品中 10 个定年点得出的年龄近一致, 加权平均年龄为 $428.3 \pm 5.9 \text{ Ma}$ (95% conf., $n = 10$, MSWD = 1.9), 为岩石的结晶年龄。总之, 7101 样品中 10 个分析点均靠近谐和线, 其谐和年龄值分别为 $428.3 \pm 5.9 \text{ Ma}$, 属早志留世。

4. 岩体地球化学特征

样品的主量及微量元素含量分析结果分别见表 2, 岩体 SiO_2 含量较高, 为(71.97~76.99)%, 平均值为 73.89%, CaO 含量平均值为 0.55%, MgO 含量平均值为 0.33%, Na_2O 含量平均值为 3.40%, K_2O 含量平均值为 5.00%, $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值为 1.07~1.73, 平均值为 1.49, 总体上显示贫钠、富钾的特征; Al_2O_3 含量为(12.61~14.12)%, 平均值为 13.56%, A/NKC 值为 1.07~1.19; $\text{Fe}/\text{Fe} + \text{Mg}$ 值稳定且较低, 为 0.70~0.81; MALI 值为 7.55~8.38。上述特征表明沙地花岗岩属铝过饱和岩石。

在 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 图解[26] (如图 5(a))上, 6 个样品均投在花岗岩区域, 与矿物组合相吻合; $\text{A}/\text{NK} - \text{A}/\text{NKC}$ 图解[27] (如图 5(b))上, 所有样品都投在过铝质花岗岩的区域内; 从 ACF 图解[28] (如图 6)上显示样品都落于 S 型花岗岩区域内, 主量元素特征与华南 S 型花岗岩特征相似[29], 由此可见, 沙地加里东期花岗岩是一种过铝质 S 型花岗岩。

从表 2 可以看出, 沙地花岗岩稀土元素含量总量偏低, ΣREE 含量为 $(170 \sim 244) \times 10^{-6}$; ΣLREE 含量为 $(131 \sim 187) \times 10^{-6}$, ΣHREE 含量为 $(39 \sim 90) \times 10^{-6}$, 属轻稀土富集型, 在稀土元素球粒陨石标准化分配曲线图[30] (如图 7(a))上, 稀土元素呈明显右倾型, L/H 值为 2.07~3.68, 平均 2.99, 接近地壳的比值(2.65~2.93), 说明该花岗岩岩浆形成的物质主要来自于上地壳熔融。 $\delta\text{Eu} < 1.0$, Eu 亏损程度中等, 岩浆作用过程中斜长石发生了分离结晶作用。轻稀土元素曲线较重稀土元素一侧陡, 轻稀土元素较重稀土元素分馏

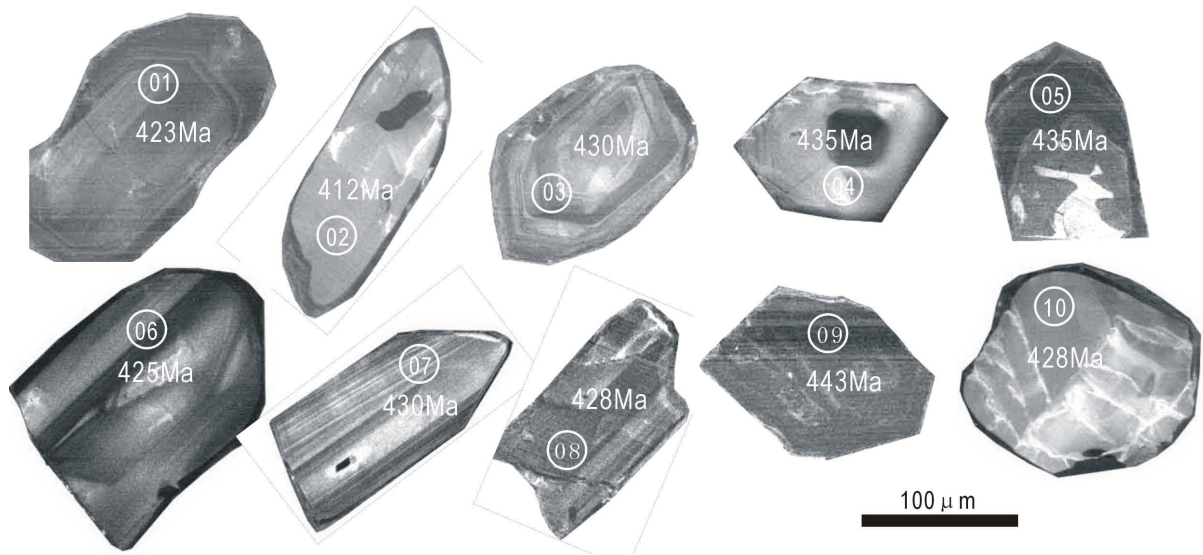


Figure 3. CL images and $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ surface ages of zircons from samples 7101 in the Shadi granitic pluton
图 3. 沙地花岗岩(样品 7101)锆石阴极发光图像及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 表面年龄值

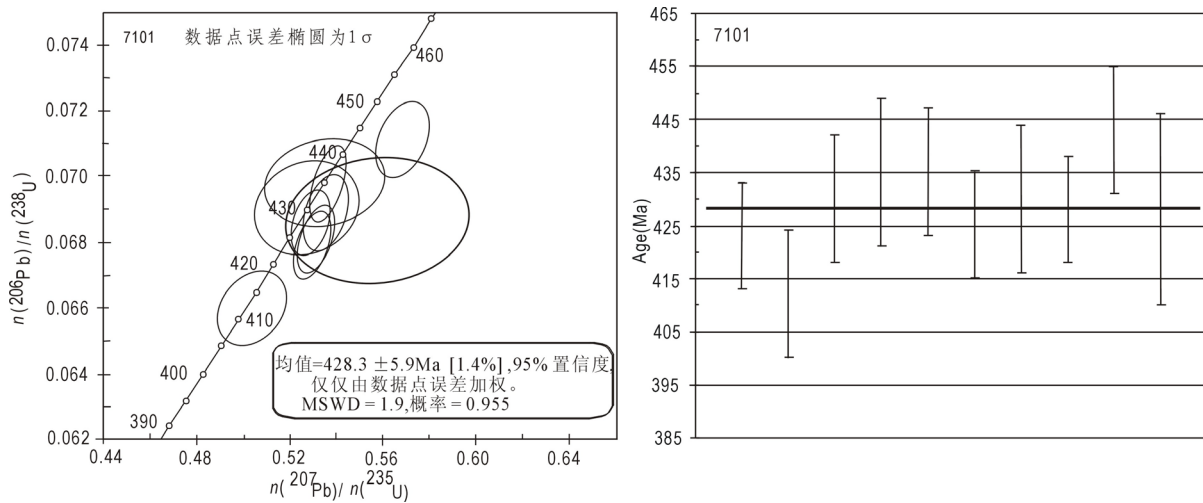


Figure 4. LA-ICP-MS zircon U-Pb Concordia diagrams of sample 7101 from the Shadi granitic pluton
图 4. 沙地花岗岩(样品 7101) LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄谐和图

明显。

由表 2 可以看出, 沙地花岗岩是一种典型的低 Sr (含量 $<100 \times 10^{-6}$)花岗岩。微量元素原始地幔标准化蛛网图(Sun S-S *et al.*, 1989) [31] (如图 7(b))显示, 岩体中 Rb、Th、U、La、Ce、Nd、Zr、Hf 及 Sm 相对富集, Ba、Sr 及 Ti 相对亏损, 与南岭地区 S 型或壳源型花岗岩相似[32] [33]。总之, 沙地花岗岩是一种低 Ba、Sr、Ti 花岗岩, 属壳源物质低程度部分熔融的产物。

5. 讨论

5.1. 沙地花岗岩物源区分析

研究区沙地花岗岩体岩石地球化学特征显示, 岩体属铝过饱 S 型花岗岩。岩体岩石地球化学特征与刘昌实等[33]总结的华南壳源改造(重熔)系列的化学成分平均值十分吻合, 说明研究区加里东期岩体来源

表 1. 沙地花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果

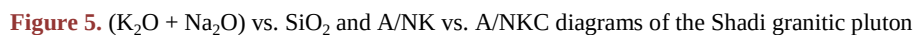


图 5. 沙地花岗岩($K_2O + Na_2O$)- SiO_2 及 A/NK-A/NKC 图解

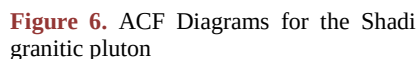


图 6. 沙地花岗岩 ACF 图解

Table 2. Analyses of major (%) and trace elements ($\times 10^{-6}$) of the Shadi granitic pluton
表 2. 沙地花岗岩体主量元素含量(%)及微量元素含量($\times 10^{-6}$)分析数据表

样号	7101	8904	8931	8932	8905	8906
SiO ₂	71.97	76.99	72.41	73.91	73.80	74.25
Al ₂ O ₃	13.98	12.61	13.93	13.46	14.12	13.26
TiO ₂	0.26	0.074	0.24	0.24	0.14	0.27
Fe ₂ O ₃	0.086	0.49	0.24	1.02	0.66	0.87
FeO	1.97	0.50	1.84	1.08	0.87	1.36
K ₂ O	5.53	4.29	5.28	4.49	5.54	4.89
Na ₂ O	3.34	4.00	3.06	3.56	3.28	3.14
MgO	0.45	0.093	0.47	0.35	0.17	0.43
CaO	0.90	0.30	0.76	0.50	0.44	0.38
P ₂ O ₅	0.19	0.019	0.17	0.15	0.051	0.15
MnO	0.081	0.083	0.075	0.35	0.17	0.06
LOI	1.46	0.73	1.77	1.36	0.99	1.17
Σ	100.22	100.18	100.25	100.47	100.23	100.23
A/NKC	1.07	1.07	1.13	1.14	1.16	1.19
A/NK	1.22	1.12	1.29	1.25	1.24	1.27
K ₂ O/Na ₂ O	1.66	1.07	1.73	1.26	1.69	1.56
A/MF	3.50	10.03	3.52	4.39	6.77	3.71
MALI	7.97	7.99	7.58	7.55	8.38	7.65
Fe/Fe + Mg	0.72	0.81	0.70	0.71	0.79	0.70
Rb	331	451	369	375	362	239
Ba	378	349	365	194	286	414
Th	24.2	16.6	26.6	24.3	11.9	19.6
U	8.84	21.9	11.8	14.2	11.3	7.43
Ta	6.46	3.27	5.97	8.15	3.77	2.23
Nb	53.4	75.1	51.3	60.0	42.8	47.8
Sr	72.2	85.4	71.2	51.5	66.1	82.3
Zr	189	102	184	160	126	201
Hf	8.10	3.06	8.01	7.20	3.80	5.90
Sc	4.97	2.91	5.24	5.03	2.72	4.01
V	12.8	7.19	12.5	10.9	10.1	16.7
Cr	15.3	13.6	11.5	10.8	14.9	14.9
Co	2.57	0.92	2.61	2.01	1.98	2.71
Ni	3.92	2.86	3.07	3.11	3.56	3.65
Cu	5.10	4.33	3.92	5.23	4.23	5.52
Pb	29.6	18.5	32.2	27.1	31.1	27.7
Zn	48.4	57.2	49.9	51.6	72.3	48.9
Rb/Sr	4.58	5.28	5.18	7.28	5.48	2.90
Sr/Ba	0.19	0.24	0.20	0.27	0.23	0.20

Continued

La	47.1	22.0	42.1	45.8	47.4	34.3
Ce	89.1	39.0	79.6	80.8	73.4	61.9
Pr	9.74	4.70	9.20	9.45	9.87	6.93
Nd	33.5	16.0	31.2	32.4	31.5	22.9
Sm	6.73	4.24	6.41	6.92	6.34	4.52
Eu	0.69	0.13	0.62	0.64	0.78	0.55
Gd	6.15	4.69	5.75	6.92	5.46	3.88
Tb	1.05	1.15	0.96	1.30	1.09	0.71
Dy	6.14	8.08	5.45	7.68	6.58	4.19
Ho	1.07	1.72	0.97	1.39	1.25	0.79
Er	3.07	5.84	2.74	4.13	3.75	2.28
Tm	0.48	1.09	0.45	0.68	0.62	0.38
Yb	3.07	8.15	2.93	4.46	4.09	2.54
Lu	0.49	1.38	0.46	0.70	0.67	0.44
Y	31.9	57.9	26.30	41.0	39.2	23.4
ΣREE	240.28	176.07	215.14	244.3	232.00	169.71
ΣLREE	186.86	186.07	169.13	176.04	169.29	131.10
ΣHREE	53.42	90.00	46.01	68.06	62.71	38.61
L/H	3.50	2.07	3.68	2.58	2.70	3.40
δEu	0.32	0.10	0.31	0.28	0.40	0.39

注：样品的主量元素和微量元素测定由国土资源部南昌矿产资源监督检测中心完成。主量元素采用荷兰飞利浦公司 PW2403 型 X 荧光光谱仪测定，分析精度优于 5%；微量元素采用美国热电元素公司 Xseries II 型电感耦合等离子体-质谱仪(ICP-MS)测定，分析精度优于 10%，大多数好于 5%。

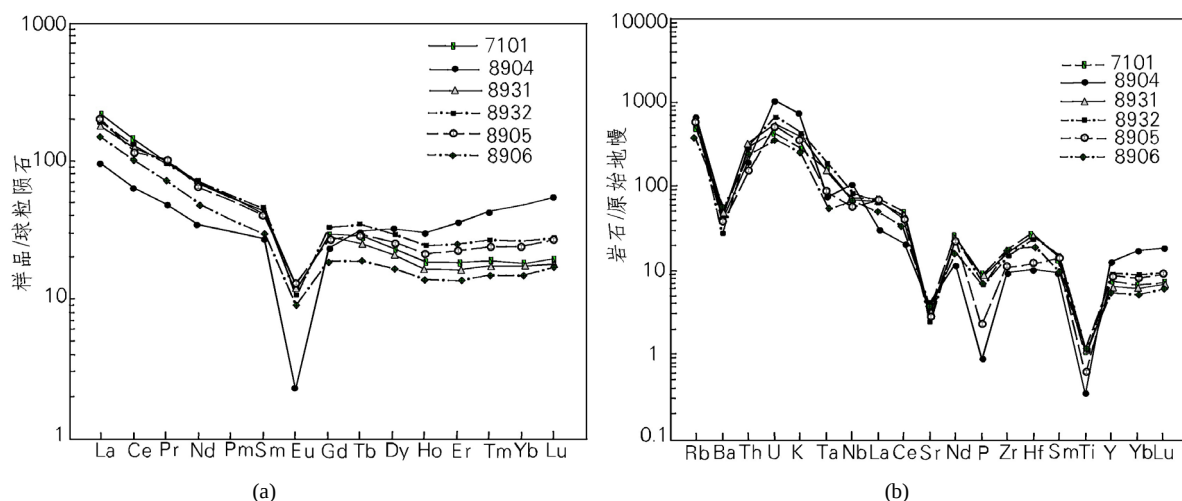


Figure 7. Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace elements spider grams (b) for the Shadi granitic pluton

图 7. 沙地花岗岩稀土元素球粒陨石标准化配分(a)曲线和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)

于地壳的重熔。王德滋等[34]认为 Rb 随着壳幔分异与陆壳演化富集于成熟度高的地壳中，而 Sr 在成熟度低、演化不充分的地壳中富集， $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 能灵敏记录源区物质性质，沙地花岗岩体 $w(\text{Rb})/w(\text{Sr})$ 为

2.90~7.28, 平均值为 5.12, 明显高于大陆地壳的平均值, 从而说明岩体来源于地壳物质熔融。

5.2. 区域构造意义

通过对前人在华南陆内加里东期花岗岩的研究, 结合本文早古生代晚期花岗岩体锆石定年数据及沙地花岗岩岩体地球化学研究表明, 在华夏板块与扬子板块碰撞拼接带钦杭接合带南界绍兴-江山-鹰潭-萍乡-彬州-北海一线两侧的加里东期岩体具有相似的地球化学特征[1] [35]。

华南属中元古代超大陆 Rodinia 的重要组成部分[36]。在 1.0~0.9 Ga 四堡造山运动期间, 扬子板块南缘湘桂一带发生洋壳俯冲, 形成岩浆弧[37]。扬子与华夏地块在中元古代末碰撞对接后发生多次开合[38], 在新元古代初期, 华夏地块与扬子地块四堡运动或晋宁运动过程中发生碰撞, 导致华南洋消失, 形成统一华南地块[11]。新元古代成冰纪时期华南地区由于深部地幔岩浆活动的影响而发生裂解[39], 就 Rodinia 超大陆裂解(820 Ma)来说, 裂解是不平衡且逐步发展的, 它首先在最显眼的碰撞对接带部位开始裂解[40], 这一裂解事件使原先的华夏地块被肢解成许多次级块体, 如原华夏地块被肢解成浙南-闽北-赣中-赣南和云开大山三个古陆残块, 中间是裂谷或海槽。

随着冈瓦纳超级大陆的形成, 各裂解次级块体与扬子陆块之间发生多期次碰撞, 华南加里东运动主要表现为不同地块碰撞拼贴增生。沈渭洲等[9]认为华南加里东期花岗岩形成于板内造山环境。周新民[14]及王德滋[15]认为花岗岩的形成与岩浆发生在较深且闭合的非伸展环境有关。陈相艳等[19]认为一些位于冈瓦纳大陆边缘的微小的陆块向冈瓦纳汇聚可能持续到志留纪。张传林等[20]认为华夏古陆为典型的碰撞型造山带, 而并非板内带, 包括华南在内的冈瓦纳大陆边缘一些微大陆或地体的合并可能沿大陆边缘持续进行直至 450~430 Ma。Zhao G C, et al. [41]认为华夏属于加里东期陆-陆碰撞造山带, 在 440~430 Ma 期间, 由扬子和华夏构成的华南陆块与位于冈瓦纳北缘的一个未知陆块碰撞, 导致整个华夏俯冲到另一个未知大陆之下。在晚奥陶世并持续到志留纪, 华南发生了强烈的构造-热事件, 导致震旦纪-早古生代海槽关闭, 巨厚沉积物褶皱隆升, 在元古代变质基底上形成了加里东期褶皱造山带[37]。块体的碰撞拼贴及强烈挤压使地壳缩短变厚、地温增高, 上地壳某一深部达到岩石初熔温度, 上地壳物质逐渐软化并部分熔融, 形成铝过饱和花岗岩岩浆[42] [43]。铝过饱和花岗岩岩浆在碰撞至后碰撞过渡期上升侵位, 形成沙地花岗岩体, 吴福元等[44]认为引起部分熔融的构造机制则可能与弧陆碰撞后拉张垮塌有关。

6. 结论

1) 赣南沙地花岗岩以似斑状黑云母二长花岗为主, 黑云母正长花岗岩次之。SiO₂ 含量为 (71.97~76.99)%, K₂O/Na₂O 为 1.07~1.73, 铝饱和指数为 1.07~1.19, 属过铝质岩石。岩石稀土元素含量总量偏低, ΣLREE/ΣHREE 值为 2.07~3.68, 平均 2.99, 接近地壳的比值(2.65~2.93)。δEu 为 0.10~0.40, Eu 亏损程度中等偏高, 岩体中 Rb、Th、U、La、Ce、Nd、Zr、Hf 及 Sm 相对富集, Ba、Sr 及 Ti 相对亏损, Rb/Sr 为 2.90~7.28, 平均值为 5.12。总之, 岩石地球化学特征显示沙地加里东期花岗岩是一种过铝质 S 型花岗岩, 属壳源物质低程度部分熔融的产物。

2) 沙地花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 428.3 ± 5.9Ma, 反映沙地花岗岩体是在早志留世脉动式侵位形成的, 这个时间也是华南加里东运动(广西运动)发生的时期。

3) 前人资料显示华夏地块与扬子地块在新元古代碰撞后发生裂解, 在晚奥陶世并持续到志留纪, 华南发生了强烈的构造-热事件, 导致震旦纪-早古生代海槽关闭, 巨厚沉积物褶皱隆升, 在元古代变质基底上形成了加里东期褶皱造山带。块体的碰撞拼贴及强烈挤压使地壳缩短变厚、地温增高, 上地壳某一深部达到岩石初熔温度, 上地壳物质逐渐软化并部分熔融, 形成铝过饱和花岗岩岩浆。铝过饱和花岗岩岩浆在碰撞至后碰撞过渡期上升侵位, 形成华南加里东期花岗岩。赣南沙地地区沙地花岗岩体处于华南

加里东期花岗岩带中, 笔者通过对沙地地区出露的加里东期沙地花岗岩体进行的详细野外特征观察和室内岩石学、元素地球化学以及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年研究, 认为沙地花岗岩体是在早志留世脉动式侵位形成的, 属奥陶纪至志留纪上地壳部分熔融形成的过铝质 S 型花岗质岩浆, 在碰撞到后碰撞过渡期上升至上地壳形成的花岗岩体。

致 谢

感谢楼法生教授级高工、刘邦秀高工、张芳荣博士、胡刚硕士研究生、廖六根高工等在调查研究工作的帮助! 感谢审稿专家对本文提出的宝贵意见!

基金项目

中国地质调查局“江西 1:5 万遂川县(G50E011003)、良口(G50E011004)、横市井(G50E012003)、夏府(G50E012004)幅区调(1212011120812)”。

参考文献 (References)

- [1] 徐克勤, 刘英俊, 等. 江西南部加里东期花岗岩的发现[J]. 地质论评, 1960, 20(3): 112-114.
- [2] 孙涛. 新编华南花岗岩分布图及其说明[J]. 地质通报, 2006, 25(3): 332-335.
- [3] 张菲菲, 王岳军, 范蔚茗, 等. 湘东-赣西地区早古生代晚期花岗岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年研究[J]. 地球化学, 2010, 39(5): 414-426.
- [4] 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 湖南九嶷山复式花岗岩体 SHRIMP 锆石定年及其地质意义[J]. 大地构造与矿产学, 2004, 28(4): 370-378.
- [5] 张芳荣, 舒良树, 王德滋, 等. 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.
- [6] Wang, Y.J., Fan, W.M., Zhao, G.C., et al. (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. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2006.10.003>
- [7] Li, Z.X., Li, X.H., Wartho, J.A., et al. (2010) Magmatic and Metamorphic Events during the Early Paleozoic Wuyi-Yunkai Orogeny, Southeastern South China: New Age Constraints and P-T Conditions. *Geological Society of America Bulletin*, 122, 772-793.
- [8] Wan, Y.S., Liu, D.Y., Wild, S.A., et al. (2010) Evolution of the Yunkai Terrane, South China: Evidence from SHRIMP Zircon U-Pb Dating, Geochemistry and Nd Isotope. *Journal of Asian Earth Sciences*, 37, 140-153. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2009.08.002>
- [9] 沈渭洲, 张芳荣, 舒良树, 等. 2008. 江西宁冈岩体的形成时代、地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 24(10): 2244-2254.
- [10] 舒良树. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东造山带[J]. 高校地质学报, 2006, 12(4): 418-431.
- [11] 舒良树, 于津海, 贾东, 等. 华南东段早古生代造山带研究[J]. 地质通报, 2008, 27(10): 1581-1593.
- [12] 舒良树. 华南构造演化的基本特征[J]. 地质通报, 2012, 31(7): 1035-1053.
- [13] Li, X.H., Li, Z.X. and Li, W.X. (2014) Detrital Zircon U-Pb Age and Hf Isotope Constrains on the Generation and Reworking of Precambrian Continental Crust in the Cathaysia Block, South China: A Synthesis. *Gondwana Research*, 25, 1202-1215. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.01.003>
- [14] 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.
- [15] 王德滋. 华南花岗岩研究的回顾与展望[J]. 高校地质学报, 2004, 10(3): 305-314.
- [16] Meert, J.G. and Lieberman, B.S. (2008) The Neoproterozoic Assembly of Gondwana and Its Relationship to the Ediacaran-Cambrian Radiation. *Gondwana Research*, 14, 5-21. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2007.06.007>
- [17] Nance, R.D., Murphy, J.B. and Santosh, M. (2014) The Supercontinent Cycle: A Retrospective Essay. *Gondwana Research*, 25, 4-29. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.12.026>
- [18] Santosh, M., Maruyama, S., Sawaki, Y., et al. (2014) The Cambrian Explosion: Plumedriven Birth of the Second Eco-System on Earth. *Gondwana Research*, 25, 945-965. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.03.013>

- [19] 陈相艳, 仝来喜, 张传林, 等. 浙江龙游石榴石角闪岩(退变榴辉岩): 华夏加里东期碰撞造山事件的新证据[J]. 科学通报, 2015, 60(13): 1207-1217.
- [20] Zhang, C.L., Santosh, M., Zhu, Q.B., *et al.* (2014) The Gondwana Connection of South China: Evidence from Monazite and Zircon Geochronology in the Cathaysia Block. *Gondwana Research*, **28**, 1137-1151. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2014.09.007>
- [21] 江西省地质局区域地质调查大队. 1:20 万井冈山幅区域地质调查报告[J]. 1974(1): 20.
- [22] 杨明桂, 梅勇文, 等. 钦-杭古板块结合带与成矿带的主要特征[J]. 华南地质与矿产, 1997, 10(3): 52-58.
- [23] Griffin, W.L., Belousova, E.A., Shee, S.R., Pearson, N.J. and O'Reilly, S.Y. (2004) Archean Crustal Evolution in the Northern Yilgarn Craton: U-Pb and Hf-Isotope evidence from Detrital Zircons. *Precambrian Research*, **131**, 231-282. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2003.12.011>
- [24] Andersen, T. (2002) Correction of Common Pb in U-Pb Analyses that do not Report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, **192**, 59-79. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00195-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00195-X)
- [25] Ludwig, K.R. (2003) Isoplot 3.00 User's Manual: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center: Special Publication.
- [26] Middlemost, A.K. (1994) Naming Materials in the Magmas/Igneous Rock System. *Earth Science Reviews*, **37**, 215-224. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9)
- [27] 陈小明, 王汝成, 刘昌实, 等. 广东从化佛冈(主体)黑云母花岗岩定年和成因[J]. 高校地质学报, 2002, 8(3): 293-307.
- [28] 邱检生, 胡建, 王孝磊, 等. 广东河源白石岗岩体: 一个高分异的 I 型花岗岩[J]. 地质学报, 2005, 79(4): 503-514.
- [29] 孙涛, 周新民, 陈培荣, 等. 南岭东段中生代强过铝花岗岩成因及其大地构造意义[J]. 中国科学: D 辑: 地球科学, 2003, 33(12): 1209-1218.
- [30] Taylor, S.R. and McLennan, S.M. (1985) The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Blackwell Science Publication, Oxford.
- [31] Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989) Chemical and Isotopic Systematics of Oceanic Basalts: Implications for Mantle Composition and Processes. In: Saunders, A.D. and Norry, M.J., Eds., *Magmatism in the Ocean Basins*, Special Publication, London, 313-345. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>
- [32] 周新民. 南岭地区晚中生代花岗岩成因与岩石圈动力学演化[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 630.
- [33] 刘昌实, 朱金初, 沈渭洲, 等. 华南花岗岩物源成因特征与陆壳演化[J]. 大地构造与成矿学, 1990, 14(2): 125-138.
- [34] 王德滋, 刘昌实, 沈渭洲, 等. 桐庐 I 型和相山 S 型两类碎斑熔岩对比[J]. 岩石学报, 1993, 9(1): 44-54.
- [35] 李聪, 陈世悦, 张鹏飞, 等. 华南加里东期陆内构造属性探讨[J]. 中国石油大学学报: 自然科学版, 2010, 34(5): 18-24.
- [36] 李献华, 王选策, 李武显, 李正祥. 华南新元古代玄武质岩石成因与构造意义: 从造山运动到陆内裂谷[J]. 地球化学, 2008, 37(4): 382-398.
- [37] 毛景文, 陈懋弘, 袁顺达, 郭春丽, 等. 华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时空分布规律[J]. 地质学报, 2011, 85(5): 636-658.
- [38] 余达淦, 管太阳, 黄国夫, 等. 华南(东)晋宁-加里东海盆地形成、演化及封闭[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 1993, 1993(4): 301-319.
- [39] Li, Z.X., Li, X.H., Zhou, H.W., *et al.* (2002) Grenvillian Continental Collision in South China: New SHRIMP U-Pb Zircon Results and Implications for the Configuration of Rodinia. *Geology*, **30**, 163-166. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2002\)030<0163:GCCISC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2002)030<0163:GCCISC>2.0.CO;2)
- [40] 余达淦, 管太阳, 巫建华, 王勇, 吴仁贵, 等. 江西基础地质研究新进展述评[J]. 东华理工大学学报(自然科学版), 2006(s1): 1-11.
- [41] Zhao, G.C. and Cawood, P.A. (2012) Precambrian Geology of China. *Precambrian Research*, **s222-223**, 13-54. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.09.017>
- [42] 陈国能, 张珂, 邵荣松, 等. 原地重熔及其地质效应[J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2001, 40(3): 95-99.
- [43] 陈国能. 岩石成因与岩石圈演化思考[J]. 地学前缘, 2011, 18(1): 1-8.
- [44] 吴福元, 李献华, 杨进辉, 郑永飞, 等. 花岗岩成因研究的若干问题[J]. 岩石学报, 2007, 23(6): 1217-1238.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ag@hanspub.org