

文章编号: 1674-9057(2015)04-0736-11

doi: 10.3969/j.issn.1674-9057.2015.04.011

广西大瑶山地区大进岩体的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其意义

熊松泉¹, 康志强^{1,2}, 冯佐海¹, 庞崇进¹, 方贵聪¹, 张青伟¹, 吴佳昌¹, 蒋兴洲¹

(1. 桂林理工大学 a. 地球科学学院, b. 广西隐伏金属矿产勘查重点实验室, 广西 桂林 541004;

2. 中国科学院地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002)

摘要: 对广西大瑶山地区金秀县大进岩体进行了详细的年代学和地球化学研究, LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素年龄测试获得其加权平均年龄为 457.7 ± 1.2 Ma ($n=14$, $MSWD=1.8$), 属华南加里东期岩浆活动产物。通过薄片鉴定及主量元素分析, 该岩体岩石类型主要为二长花岗岩, 岩石化学成分 (w_B): SiO_2 为 76.36% ~ 77.35%, K_2O 为 5.01% ~ 7.47%, $K_2O + Na_2O$ 平均含量为 7.96%, $K_2O/Na_2O > 1.31$, 为高钾钙碱性-钾玄质系列, A/CNK 为 0.98 ~ 1.76, 整体属于偏铝质-强过铝质岩石; 全岩锆饱和温度为 (758 ~ 791 °C), 富集 Rb、Th、U、Pb; 强烈亏损 Ba、Sr、Eu 等微量元素, 具有 M 型稀土四分组效应。综合判断: 大进岩体为 I 型花岗岩, 且可能经历了较高分离结晶作用; 大进岩体的构造背景为板内环境, 形成于华南加里东运动同碰撞时期。

关键词: 花岗岩; LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年; 地球化学; 大进岩体; 大瑶山; 广西

中图分类号: P597.3; P588.121

文献标志码: A

广西大瑶山地区地处广西中东部, 位于扬子陆块与华夏陆块结合带南西段, 是广西重要金矿产区之一。据该区 1:20 万区域地质测量报告^[1-4], 大瑶山地区经历了不同时代多期次的岩浆活动, 可分为加里东期、海西-印支期、燕山期 3 个阶段, 主要的岩体 (岩脉群) 有大进花岗岩体、朴全-岭祖花岗岩体、宋冒顶石英斑岩体、西山石英二长岩-花岗岩体、大黎花岗闪长岩体、六岑-桃花-古袍闪长岩群、古龙-倒水-夏郢闪长岩群、社山花岗闪长岩-花岗斑岩体、莲垌花岗闪长岩体等, 具有单个岩体规模小, 岩体聚集成群规模大的特点 (图 1a)。

近年来花岗岩研究在大陆动力学研究中显示出越来越重要的意义, 花岗岩的成因机制及其地

球动力学背景更是华南地区地质演化问题争论的焦点之一。前人在该区的研究工作大多与矿床有关, 尤其是金矿床成矿规律, 对花岗岩本身的研究不足, 而且传统观点认为, 华南地区加里东期花岗岩与成矿关系不大。该区加里东期花岗岩研究工作较少, 岩浆岩整体工作程度较低, 部分岩体缺乏高精度测年数据, 使大瑶山地区岩浆岩的时代存在争议, 这对该区岩浆活动的进一步研究造成了很大困扰, 极大影响了成矿规律及找矿方向研究工作的进度。大瑶山地区加里东期岩浆岩类在强度和广度上仅次于燕山期花岗岩, 某些加里东期花岗岩可以直接形成矿床, 某些加里东期花岗岩可能为该地区晚期成矿事件提供部分成矿物质来源^[6]。随着近十年来陆续发现一系列斑岩

收稿日期: 2015-06-27

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41162005; 41463001; 41572191); 广西自然科学基金重点项目 (2015GXNSFDA139029); 广西找矿突破战略行动地质矿产勘查项目 (桂国土资函[2014]459); 广西“八桂学者”创新团队项目 (2013, 有色金属成矿理论与勘查技术); 广西研究生教育创新计划项目 (YCSZ2015158); 广西矿冶与环境科学实验中心项目 (KH2011ZD002)

作者简介: 熊松泉 (1990—), 男, 硕士研究生, 岩石学、矿床学及矿物学专业, xiongsq1990@foxmail.com。

通讯作者: 康志强, 博士, 副教授, zk99201@163.com。

引文格式: 熊松泉, 康志强, 冯佐海, 等. 广西大瑶山地区大进岩体的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及其意义 [J]. 桂林理工大学学报, 2015, 35 (4): 736-746.

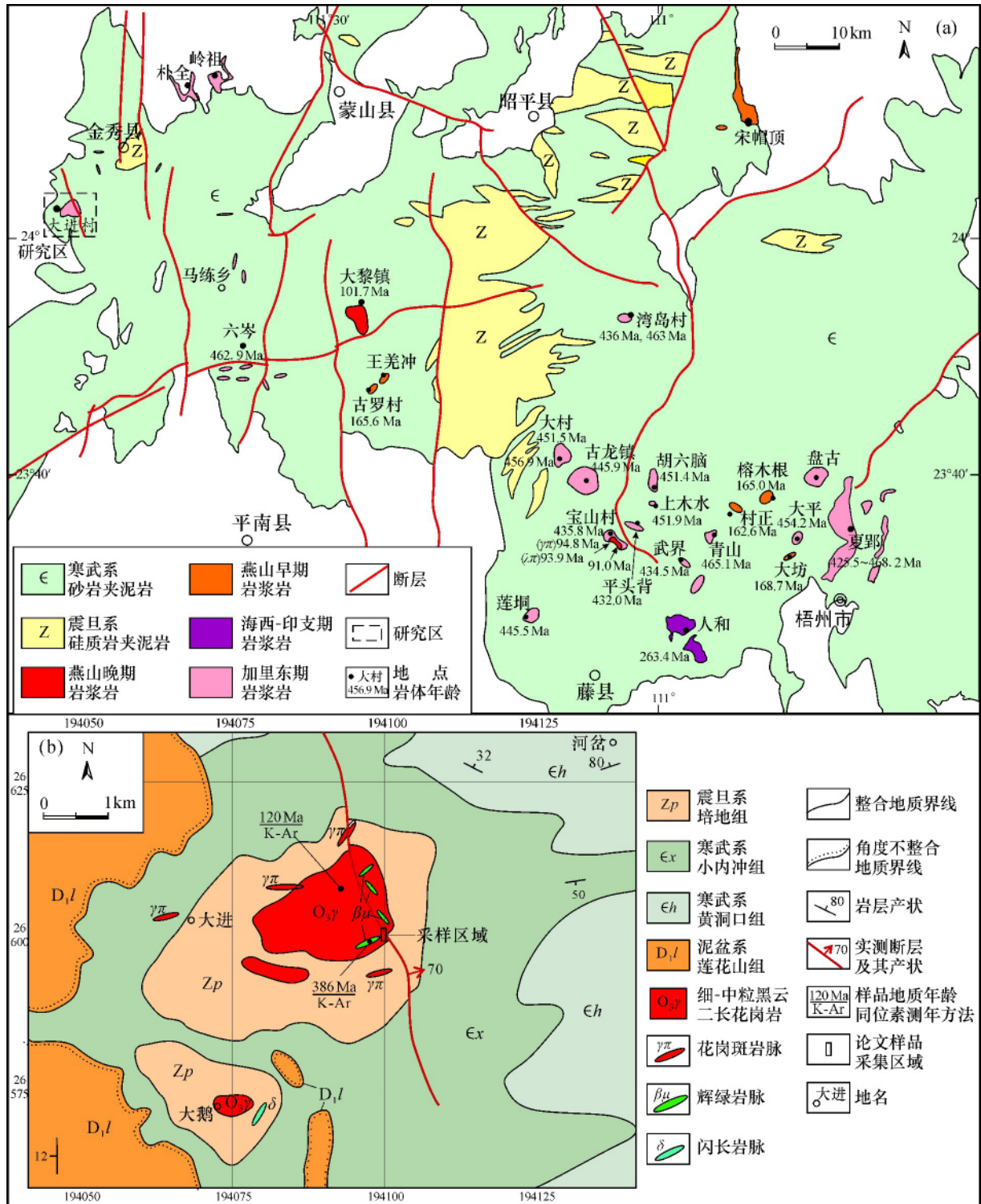


图 1 广西大瑶山地区花岗岩类时空分布图 (a , 据文献 [5 , 7 - 9] 修改) 及大进岩体地质简图 (b)

Fig. 1 Spatial-temporal distribution of granitoids in Dayaoshan area(a) and simplified geological map of Dajin granitic pluton (b)

型铜金钨钼多金属矿床，如广西苍梧社垌钨钼矿床^[10]、广西昭平湾岛金矿^[11]、广西苍梧武界钨钼矿^[12]、广西龙头山斑岩型金矿床^[13]、广西宝山斑岩铜矿床^[14]及广西藤县大黎钼矿床^[15]等，表明其具有良好的找矿前景，也说明了大瑶山地区加里

东期岩浆岩研究工作对今后的找矿工作具有重要意义。本文拟通过对大进岩体进行详细的年代学及地球化学研究，进而探讨其形成时代、岩石成因和构造背景。这些新的资料对于更好地揭示大瑶山地区加里东期地球动力学环境及其构造演化

过程具有重要意义。

1 地质背景

大进岩体构造位置位于钦杭结合带南西段大瑶山隆起区西北部,有北西向断层通过。岩体长约2.4 km,宽约1.8 km,出露面积约4 km²,呈桃状侵入震旦系培地组浅变质砂岩中,分布于金秀县大进村一带(图1b)。外接触围岩发生强烈接触热变质,从内向外形成宽约100~500 m的黑云母-堇青石带和宽大于200 m的绢云母-绿泥石带,往外热接触变质逐渐减弱。侵入体中岩脉发育,种类繁多,均呈岩墙、岩脉状产出。大进岩体主要为浅肉红色细粒二长花岗岩,局部可见灰白色绢云母化细中粒二长花岗岩脉。岩体以中细粒结构为主,岩石粒度均匀,未见暗色包体。

二长花岗岩(图2a、图2b、图2c),样品号为JX-1、JX-2、JX-5。块状构造,细粒花岗结构。主

要矿物有石英、钾长石、斜长石,副矿物为磁铁矿。石英呈不规则粒状,粒径2~4 mm,含量30%~35%;钾长石呈半自形板柱状,长2~4 mm,宽1~1.5 mm,具弱高岭土化和绢云母化蚀变,含量35%~40%;斜长石呈自形板柱状,局部破碎,长2~4 mm,宽1~2 mm,具弱绢云母化蚀变,聚片双晶明显,含量25%~30%。晶体边部常见溶蚀现象,具浅成相岩石特征。

绢云母化二长花岗岩(图2d、图2e、图2f),样品号为JX-3、JX-4。块状构造,细-中粒花岗结构,岩石已强烈绢云母化,主要矿物为石英、斜长石、钾长石,副矿物为磁铁矿。石英呈不规则粒状,粒径2~4 mm,大部分边部呈溶蚀港湾状,局部可见波状消光,含量约40%;斜长石强烈绢云母化,难以看出原来晶形,含量约35%;钾长石强烈绢云母化,仅残留原来晶形,呈自形-半自形板柱状,长2~3 mm,宽0.5~2 mm,含量约25%。

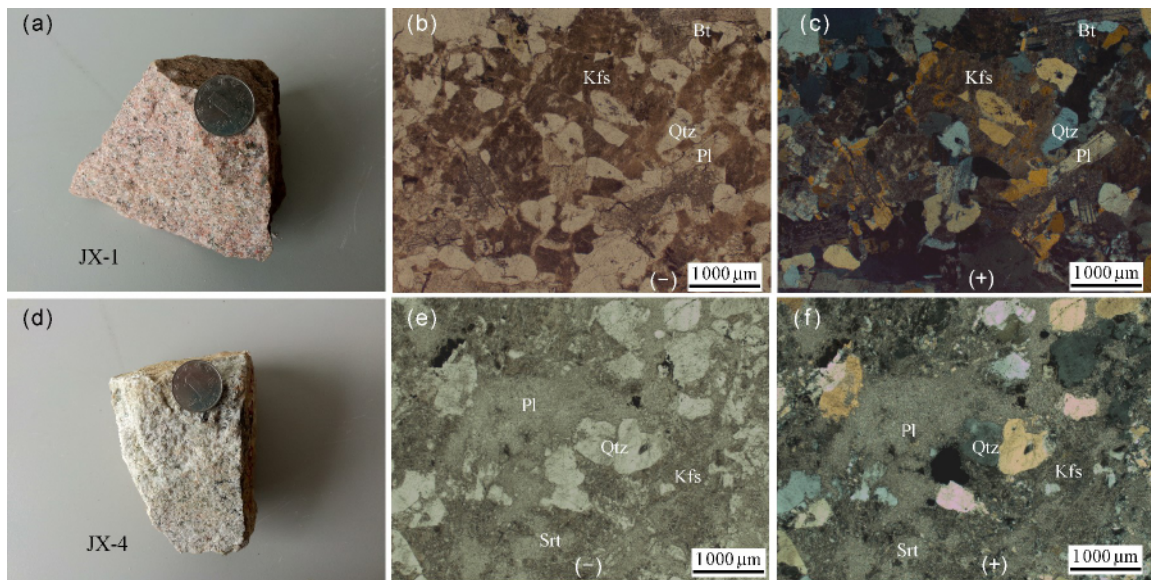


图2 大进岩体手标本及显微镜下照片

Fig. 2 Photos and microphotographs of the Dajin granitic pluton

a, b, c—二长花岗岩; d, e, f—绢云母化二长花岗岩。Qtz—石英; Kfs—钾长石; Pl—斜长石; Bt—黑云母; Srt—绢云母

2 分析方法

主量、微量元素分析测定均在中国科学院广州地球化学研究所完成。主量元素分析采用Rigaku RIX 2000型荧光光谱分析仪(XRF)测定,分析精度优于2%~5%,其详细步骤参见文献[16]。微量元素分析采用Perkin-Elmer Sciex ELAN 6000型电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS)测定,

使用USGS标准W-2、G-2及国内标准GSR-1、GSR-2、GSR-3来校正测试样品的含量。具体流程见文献[17],分析精度优于10%。

锆石分选工作在河北廊坊市诚信地质服务有限公司完成;锆石的制靶和反射光、透射光及阴极荧光(CL)图像的拍摄工作均在重庆宇劲科技有限公司完成;锆石U-Pb年龄测定在天津地质调查中心同位素实验室完成,采用激光烧蚀多接

收器等离子体质谱仪 (LA - MC - ICP - MS) 进行微区原位 U - Pb 同位素测定, 分析仪由美国 ESI 公司 NEW WAVE 193nm FX 激光器和美国赛默飞世尔公司 NEPTUNE 多接收等离子质谱组成。采用 He 作为剥蚀物质的载气, Ar 作为补偿气, 用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST LSRM610 进行仪器最优化。锆石 U - Pb 年龄分析采用的光斑直径为 30 μm , 并采用国际标准锆石 GJ - 1 (600 Ma) 作为外标标准物质进行 U - Pb 同位素分馏校正^[18], 外标校正方法为每隔 8 个样品分析点测一次标准, 保证标准和样品的仪器条件完全一致。样品的同位素数据处理采用软件 ICPMSDATAcal^[19] 进行, 年龄计算及谐和图的绘制采用 Isoplot 3.23^[20] 进行, 应用²⁰⁸Pb 校正法对普通铅进行校正^[21], 实验的详细流程参见有关文献 [22]。

3 分析结果

3.1 锆石 U - Pb 年龄

样品 (JX-1) LA - MC - ICP - MS 锆石 U - Pb 同位素有效分析结果列于表 1。

锆石 CL 图像显示 (图 3), 锆石为短柱 - 长柱状, 晶棱较清楚, 部分破碎, 颗粒长 50 ~ 120 μm , 宽

35 ~ 70 μm 。部分具有清晰的生长环带, 有的锆石发光性较差, 生长环带较模糊。锆石 Th/U 值为 0.18 ~ 0.78, 为典型的岩浆成因锆石 (Th/U > 0.1)^[23]。本次实验锆石 U - Pb 同位素有效分析结果为 18 个, 出现的 4 个古老锆石年龄 (589 ~ 2 567 Ma) 应为核部老锆石残留, 测点 19 的年龄为 428 Ma, 可能为机械混入的年轻锆石。有效测试数据为 13 个, 使用 Isoplot 3.23 处理数据, 得出其²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为 457.7 \pm 1.2 Ma (MSWD = 1.8), 代表岩体样品的形成时代 (图 4)。

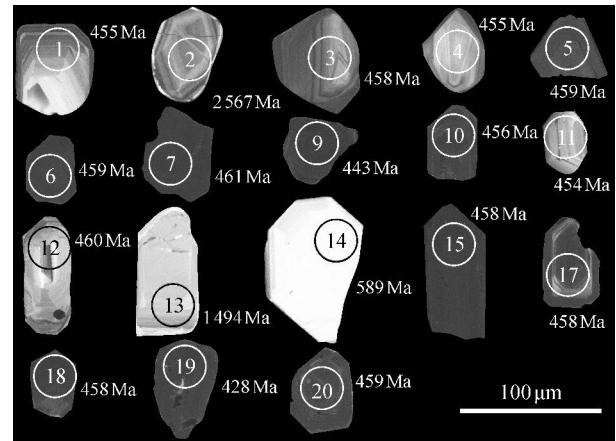


图 3 锆石阴极发光图

Fig. 3 Cathodoluminescence images of zircon grains

表 1 大进岩体锆石 U - Pb 年龄分析测试结果
Table 1 Zircon U - Pb age results for Dajin granitic pluton

点号	$w_B/10^{-6}$		Th/U	同位素比值						年龄/Ma						谐和度 /%
	Th	U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	$\pm 1\sigma$	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	$\pm 1\sigma$	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	$\pm 1\sigma$	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	$\pm 1\sigma$	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	$\pm 1\sigma$	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	$\pm 1\sigma$	
1	126	340	0.37	0.058 0	0.000 2	0.585 4	0.002 8	0.073 1	0.000 3	532	7	468	2	455	2	97
2	35	90	0.39	0.164 7	0.000 3	11.109 7	0.039 6	0.489 1	0.001 5	2 505	4	2 532	3.3	2 567	6.3	98
3	108	394	0.27	0.056 9	0.000 3	0.576 9	0.003 1	0.073 6	0.000 2	487	11	462	2	458	1	98
4	137	277	0.49	0.057 4	0.000 8	0.580 1	0.008 6	0.073 2	0.000 3	509	31	465	6	455	2	98
5	123	408	0.30	0.056 3	0.000 1	0.572 6	0.002 8	0.073 8	0.000 3	465	10	460	2	459	2	99
6	88	480	0.18	0.056 4	0.000 1	0.574 0	0.002 4	0.073 8	0.000 3	478	4	461	2	459	2	99
7	94	461	0.20	0.055 8	0.000 1	0.569 9	0.002 5	0.074 1	0.000 3	443	6	458	2	461	2	99
9	89	484	0.18	0.056 1	0.000 3	0.550 0	0.003 8	0.071 1	0.000 2	454	11	445	2	443	1	99
10	134	399	0.34	0.057 2	0.000 1	0.577 7	0.002 6	0.073 3	0.000 3	498	6	463	2	456	2	98
11	157	264	0.59	0.058 3	0.000 3	0.586 2	0.004 3	0.072 9	0.000 3	543	13	468	3	454	2	96
12	127	335	0.38	0.056 4	0.000 3	0.574 3	0.004 2	0.073 9	0.000 3	465	13	461	3	460	2	99
13	64	126	0.51	0.095 4	0.000 2	3.430 6	0.015 1	0.260 9	0.001 0	1 544	4	1 511	3.5	1 494	5.0	98
14	143	183	0.78	0.059 9	0.001 3	0.789 9	0.017 6	0.095 7	0.000 3	598	53	591	10.0	589	1.6	99
15	94	452	0.21	0.056 6	0.000 1	0.574 6	0.002 2	0.073 7	0.000 2	476	1	461	1	458	1	99
17	98	446	0.22	0.056 7	0.000 2	0.575 0	0.002 5	0.073 6	0.000 2	480	6	461	2	458	1	99
18	114	454	0.25	0.056 7	0.000 1	0.575 6	0.003 5	0.073 6	0.000 4	480	6	462	2	458	3	99
19	103	455	0.23	0.057 1	0.000 1	0.540 8	0.001 9	0.068 7	0.000 2	494	-1	439	1.2	428	1.2	97
20	108	420	0.26	0.056 5	0.000 1	0.574 9	0.001 8	0.073 8	0.000 2	472	6	461	1	459	1	99

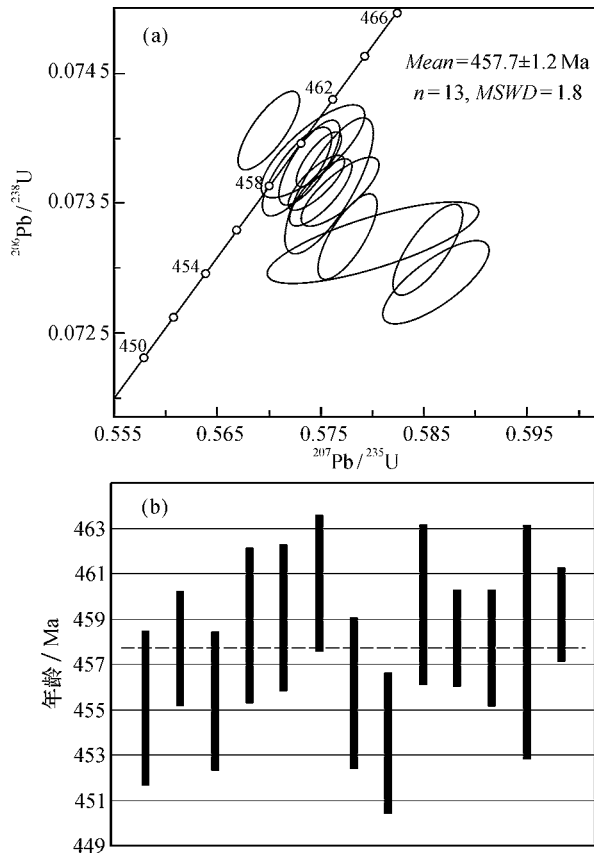


图4 大进岩体锆石 U-Pb 年龄谐和图 (a) 和加权平均年龄 (b)

Fig. 4 U-Pb concordia diagram (a) and weighted mean age (b) for zircons of Dajin granitic pluton

3.2 地球化学特征

岩体的主量元素、稀土元素和微量元素分析结果见表2。

3.2.1 主量元素 大进花岗岩的主量元素总体表现为富硅 (SiO_2 76.36% ~ 77.35%), 高钾 (K_2O 5.01% ~ 7.47%), 高 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值 (>1.31 , 其中绢云母化二长花岗岩 Na_2O 平均含量为 0.2%), $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ 平均含量为 7.96%, 低 Al_2O_3 (12.09% ~ 12.62%), TiO_2 、 MnO 、 MgO 、 CaO 、 P_2O_5 含量低的特点, 分异指数较高 (88.98 ~ 97.3)。在 $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 图解上(图 5a), 样品均落入花岗岩范围内。在 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ 图解上(图 5b), 二长花岗岩样品投在高钾钙碱性系列与钾玄岩系列的分界处, 绢云母化二长花岗岩样品投在钾玄岩系列。在 $A/\text{CNK} - A/\text{NK}$ 图解上(图 6), 二长花岗岩属于偏铝质花岗岩, 绢云母化二长花岗岩属于强过铝质花岗岩。

表2 大进岩体主量($w_B/\%$)、稀土元素和微量元素($w_B/10^{-6}$)分析结果

Table 2 Major($w_B/\%$), REE and trace element($w_B/10^{-6}$) compositions of Dajin granitic pluton

样品号	JX-1	JX-2	JX-3	JX-4	JX-5
岩性	二长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩	二长花岗岩
SiO_2	76.36	76.45	76.84	76.55	77.35
TiO_2	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04
Al_2O_3	12.17	12.3	12.48	12.62	12.09
TFeO^*	1.08	1.02	1.5	1.77	1.22
MnO	0.06	0.07	0.11	0.1	0.13
MgO	0.12	0.19	0.53	0.7	0.09
CaO	0.12	0.36	0.03	0.04	0.29
Na_2O	3.98	3.23	0.1	0.3	3.32
K_2O	5.21	5.01	7.47	6.12	5.03
P_2O_5	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
LOI	0.44	0.64	1.02	1.31	0.22
Total	99.72	99.42	99.92	99.76	99.91
$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	9.19	8.24	7.57	6.42	8.35
A/CNK	0.98	1.08	1.5	1.76	1.06
A/NK	1	1.15	1.52	1.79	1.11
分异指数	97.3	94.76	91.32	89.01	95.18
锆饱和温度	764	758	790	791	762
La	26.54	26.58	8.79	4.27	25.53
Ce	65.64	65.47	20.72	11.19	61.11
Pr	8.88	8.7	2.83	1.65	8
Nd	35.37	34.11	10.98	6.68	31.06
Sm	11.06	10.72	4.05	2.68	9.62
Eu	0.09	0.07	0.13	0.11	0.08
Gd	12.04	11.68	5.3	3.65	10.93
Tb	2.63	2.5	1.47	0.97	2.53
Dy	16.74	15.67	10.13	6.78	16.44
Ho	3.8	3.49	2.34	1.61	3.75
Er	11.66	10.6	7.34	5.15	11.46
Tm	1.88	1.72	1.21	0.86	1.85
Yb	12.93	11.85	8.35	6.16	12.77
Lu	2.13	1.95	1.36	1.03	2.11
ΣREE	211.39	205.11	85	52.79	197.24
LREE/HREE	2.31	2.45	1.27	1.01	2.19
δEu	0.02	0.02	0.08	0.11	0.02
Rb	428.5	400.6	613.2	461.9	373.3
Ba	221.5	101.2	481.9	186.7	107.7
Th	42.44	53.4	42	52.73	51.33
U	21.63	21.96	16.41	13.83	19.44
Nb	72.84	72.7	82.93	61.83	71.67
Ta	8.18	7.71	8.22	7.98	7.89
Pb	12.17	18.28	5.03	4.05	12.67
Sr	9.94	9.2	4.87	7.79	12.43
Zr	125.4	103.5	109.1	99.18	111.2
Hf	7.64	6.39	6.79	6.27	7.31
Ti	237.1	235.6	238.4	238.9	244.5
Y	122.2	103.7	63.6	48.22	114.8

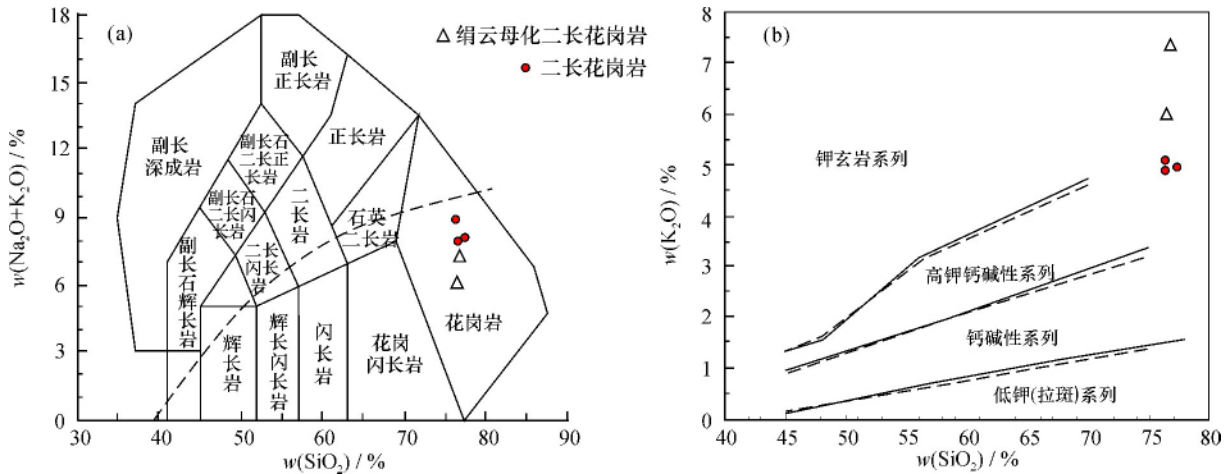


图 5 SiO₂ - (K₂O + Na₂O) 图解 (a, 仿文献 [24]) 和 SiO₂ - K₂O 图解 (b, 仿文献 [25], 虚线据文献 [26])

Fig. 5 SiO₂ - (K₂O + Na₂O) diagram (a) and SiO₂ - K₂O diagram (b)

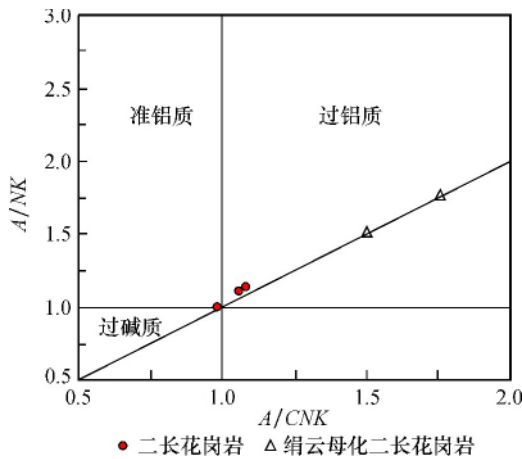


图 6 A/CNK - A/NK 图解

Fig. 6 A/CNK - A/NK diagram

3.2.2 稀土元素及微量元素 岩体中稀土元素和微量元素的主要分布特征分别见图 7a、图 7b。二长花岗岩稀土元素总量较高 ($\sum REE = (197.24 \sim 211.39) \times 10^{-6}$), 而绢云母化二长花岗岩稀土元素总量相对较低 ($\sum REE = (52.79 \sim 85.00) \times 10^{-6}$)。其 LREE/HREE 分别为 2.19 ~ 2.45 和 1.01 ~ 1.27, (La/Yb)_N 分别为 1.43 ~ 1.61 和 0.50 ~ 0.76, (Gd/Dy)_N 分别为 0.82 ~ 0.92 和 0.65 ~ 0.67, (Er/Yb)_N 分别为 0.92 ~ 0.93 和 0.86 ~ 0.90, 其轻、中、重稀土元素分馏均较差, 并且 Eu 强烈亏损, $\delta Eu = 0.02 \sim 0.11$ 。稀土元素球粒陨石标准化配分曲线为水平海鸥型, 形态上具有 M 型四分组效应特点。

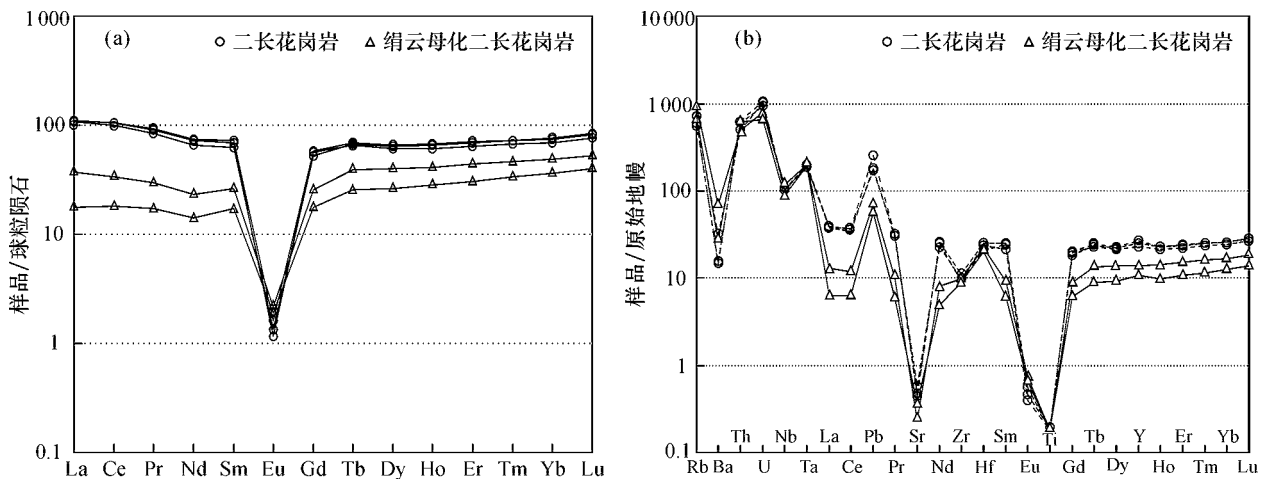


图 7 大进岩体的稀土元素球粒陨石标准化配分图 (a) 和微量元素原始地幔标准化蛛网图 (b)

(球粒陨石和原始地幔标准化数值引自文献 [28])

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns (a) and primitive mantle-normalized trace element spidergrams (b) of Dajin granitic pluton

根据表2可见,与同时期华南花岗岩相比^[27],大进岩体的Ba、V、Cr和Sr等含量明显偏低,Y、Nb、Th和U等含量明显偏高,显示出高分异花岗岩的特点。微量元素原始地幔标准化蛛网图显示,与相邻元素比较,大进花岗岩体的Ba、Sr和Eu+Ti表现为强烈亏损;相反,Rb、Th+U、Pb和Hf+Sm等显著富集。

4 讨论

4.1 岩体形成时代

前人测得大进岩体K-Ar同位素年龄为120 Ma,大进岩体中辉绿玢岩脉K-Ar同位素年龄为386 Ma^[29]。辉绿玢岩脉呈岩墙、岩脉产出,岩墙产状近似直立,显然是辉绿玢岩侵入大进岩体,因此,大进岩体形成年代应早于辉绿玢岩脉,K-Ar同位素年龄与野外地质现象相矛盾。

本次工作首次对大进岩体进行了高精度的LA-MC-ICP-MS锆石U-Pb定年,获得大进岩体二长花岗岩的U-Pb年龄加权平均值为457.7±1.2 Ma,这一测年数据早于辉绿玢岩脉(386 Ma),与辉绿玢岩脉侵入大进岩体的地质实际相吻合。因此,将大进岩体的形成年代确定为中奥陶世(457 Ma)。

4.2 岩石成因类型

本文采集的大进岩体样品均具高的SiO₂含量(>76%)、高的岩浆分异指数(88.98~97.3),表现为Ba、Sr和Eu+Ti强烈亏损,暗示其可能经历了斜长石、钛铁矿等矿物的强烈分离结晶作用。岩体的稀土元素球粒陨石标准化配分图呈水平海鸥型,形态上具有M型四分组效应特点,这种稀土元素四分组效应的异常现象代表了特定的成岩成矿作用和过程。许多研究表明,高分异花岗岩质岩石均具有M型稀土元素四分组效应。赵振华等^[30]在相关研究成果中指出,强Eu负异常是花岗质岩浆经历了长石高度分离结晶作用后的结果,近于水平的M型稀土四分组模式是强烈分离结晶作用后挥发分、碱金属及REE、Nb、Ta、Zr、Be等成矿元素在残留熔体中高度富集,形成强烈的流体/熔体相互作用,稀土元素在流体-熔体间分配的结果。综合以上地球化学特征指示,大进岩体可能经历了较高分异作用。

I型、S型及A型花岗岩在经历高度分异结晶

后,其矿物组成与地球化学成分都与低共结花岗岩接近而难以区分其成因类型,在野外和岩相学观察中,大进岩体样品中不含角闪石、堇青石和碱性暗色矿物等重要矿物标志,从矿物学上无法提供判别成因类型的依据。前人研究表明,对A型与高分异I、S型进行判别比较困难^[31-32]。国际上许多学者进行了大量工作,以求对它们的成因类型进行正确划分^[33-38]。总的来说,A型花岗岩类形成温度较高,具有高的Ga/Al值,且由于富碱特性而明显富集Zr、Nb、Ce、Y和REE等元素。目前10 000×Ga/Al值(>2.6)、Zr含量(>250×10⁻⁶)和Zr+Nb+Ce+Y含量(>350×10⁻⁶)等指标仍是作为判定A型花岗岩的主要判别依据^[39],尽管其与高分异花岗岩类有重叠的可能性。虽然大进岩体的10 000×Ga/Al值(2.76~2.98)>2.6,但岩体具有M型稀土元素四分组特征,表明存在流体-熔体相互作用,因此,其元素地球化学行为发生了很大改变,Ga/Al值不能用来判别岩石类型。根据全岩锆饱和和温度计计算,岩体形成温度偏低(758~791℃),低于典型的A型花岗岩形成温度(>800℃),在(Zr+Nb+Ce+Y)-FeO^T/MgO图解(图8a)中,大进岩体并没有落在A型花岗岩区域,二长花岗岩落入分异的花岗岩区域,钾长花岗岩落入未分异的花岗岩区域。大进岩体为A型花岗岩的可能性较小。

前人在研究中指出,传统的I、S型花岗岩以A/CNK值1.1为界划分对高分异花岗岩并不适用,最可靠的标志是寻找与高分异花岗岩成因相关的偏镁铁质岩石,它们保留了较多的原始地球化学特征,易于进行岩石类型分类^[39],其次是P₂O₅、Th、Ba、Rb等^[40-44]。大瑶山隆起区内部的加里东期花岗岩类,如岭祖岩体和六岑-桃花-古袍花岗岩体群趋近于I型花岗岩^[45],古龙-倒水-夏郢岩体群为I型花岗岩^[5],这些岩体与大进岩体形成时期一致,空间相近,成因上很可能具有相关性。在大进岩体成因类型判别图解(图8b、图8c、图8d)中,大进岩体均落于I型花岗岩区域,与S型花岗岩区域有明显距离。

综上所述,大进岩体是A型或S型花岗岩的可能性较小,其性质更加接近I型花岗岩。因此,本文认为大进岩体应为I型花岗岩,在其形成过

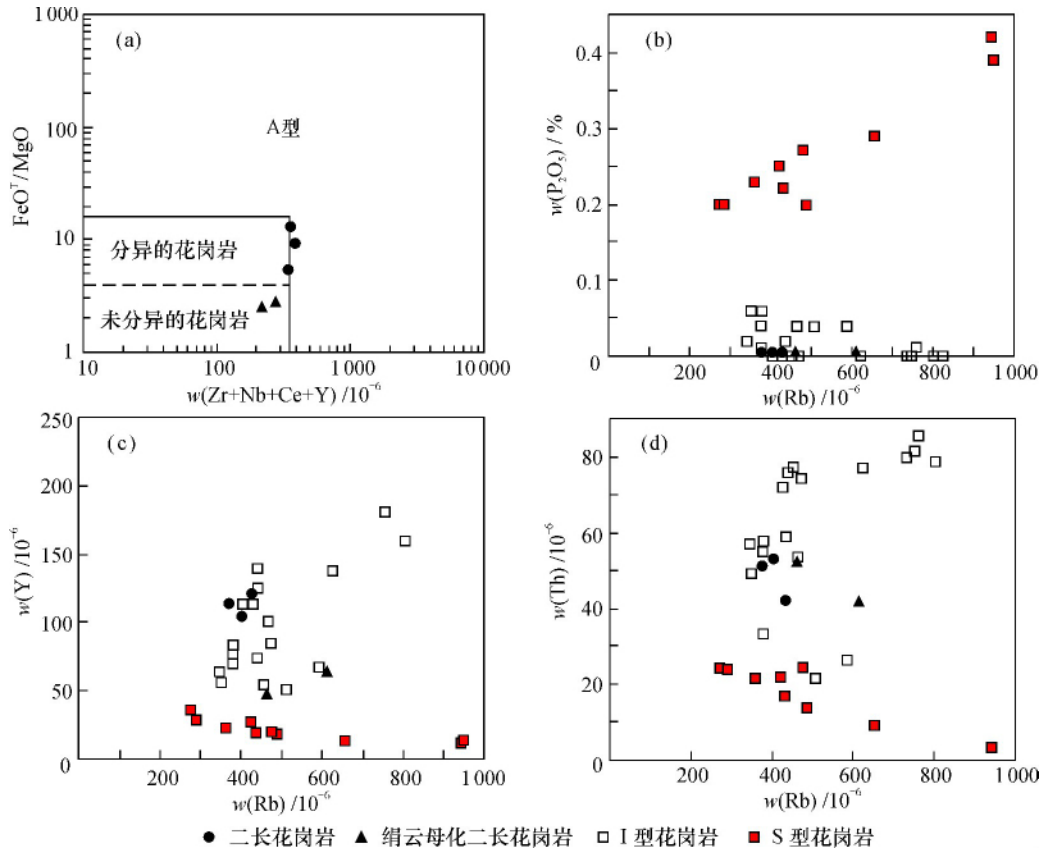


图 8 大进岩体成因类型判别图解

Fig. 8 Discrimination diagrams of Dajin granitic pluton

a—(Zr + Nb + Ce + Y) - FeO^T/MgO 分类图解 (仿文献 [38]); b—Rb - P₂O₅ 图解; c—Rb - Y 图解; d—Rb - Th 图解 (b、c、d 底图及 I 型、S 型花岗岩数据据文献 [40])

程中经历了较高分异作用。

4.3 岩体的构造背景

随着华南加里东期构造背景研究的不断深入,许多地质证据表明,华南震旦纪 - 奥陶纪沉积环境并非是深海 - 大洋,多属浅海,少部分为半深海^[46-48];原来认为的古生代洋陆俯冲证据,如江绍断裂带、火山岩、政和岛弧玄武岩带等经过同位素测年后,发现其为新元古代扬子与华夏陆块俯冲碰撞形成的^[49-51];此外,还存在过去少数火山岩岩性鉴定有误的情况^[50]。所以,迄今为止,缺少确凿的地质证据,证明华南地区存在早古生代的蛇绿岩带、火山岛弧带或深海 - 大洋沉积区。华南地区从震旦纪到奥陶纪全区均为浅海 - 半深海环境,缺少幔源岩浆踪迹,未发现成规模的火山岩,为板内稳定沉积环境,否定了过去部分学者关于华南地区加里东期洋陆俯冲的假说。板内造山带的解释得到了越来越多的学者认可^[27,47-49]。

前人研究表明华南加里东运动分为两个阶段,

460 ~ 435 Ma 为同碰撞挤压阶段,435 ~ 400 Ma 为后碰撞伸展阶段^[52-56]。在 Rb - (Y + Nb) 图解与 Yb - Ta 图解(图9),大进岩体基本落于板内花岗岩区域,或靠近其与同碰撞花岗岩的分界线,说明大进岩体形成于板内环境。其加权平均年龄为 457.7 ± 1.2 Ma,属于前人认为的加里东运动早期阶段,证明其形成构造背景应该是处于同碰撞时期。因此综合认为,大进岩体的形成构造背景应为处于同碰撞时期的板内环境。

5 结论

(1) 大进岩体主要岩性为二长花岗岩。对其二长花岗岩进行 LA - MC - ICP - MS U - Pb 同位素定年,大进岩体形成时代为 457.7 ± 1.2 Ma。综合地质地球化学特征指示,大进岩体为 I 型花岗岩,经历了较高分异作用。

(2) 大进岩体的构造背景为板内构造环境,形成于华南加里东运动的同碰撞时期。

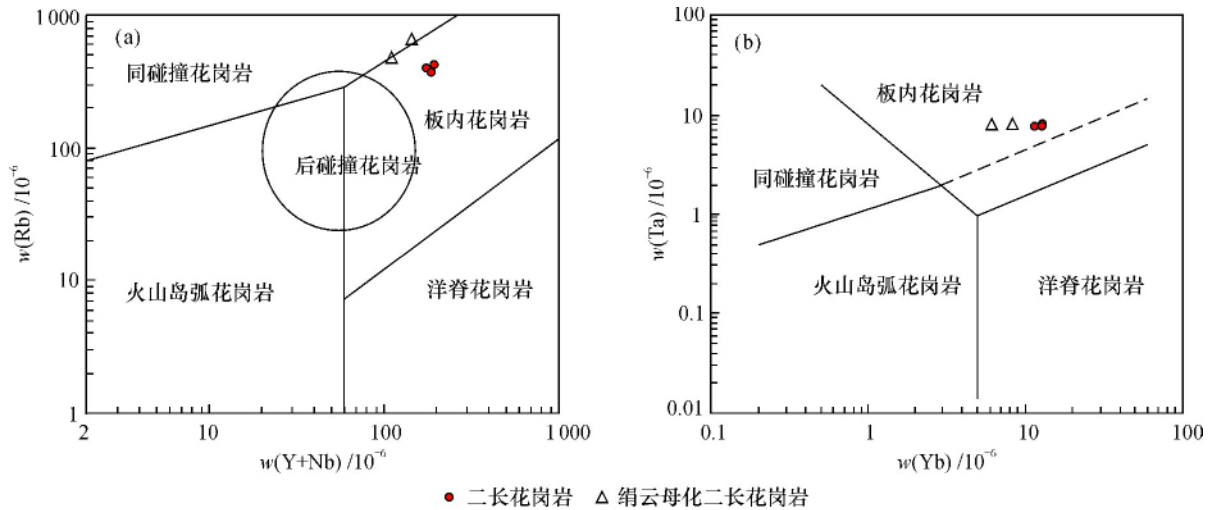


图9 (Y+Nb) - Rb图解 (a, 仿文献 [57]) 和 Yb - Ta图解 (b, 仿文献 [58])
Fig.9 (Y+Nb) - Rb diagram (a) and Yb - Ta diagram (b)

参考文献:

- [1] 广西地质局区测队. 桂平幅 F-49-3 1/20 万区域地质测量报告书 [R]. 桂林: 广西区域地质调查研究院, 1964.
- [2] 广西地质局区测队. 贺县幅 G-49-34 1/20 万区域地质测量报告书 [R]. 桂林: 广西区域地质调查研究院, 1963.
- [3] 广西地质局区测队. 荔浦幅 G-49-33 1/20 万区域地质测量报告书 [R]. 桂林: 广西区域地质调查研究院, 1965.
- [4] 广西地质局区测队. 梧州幅 F-49-4 1/20 万区域地质测量报告书 [R]. 桂林: 广西区域地质调查研究院, 1965.
- [5] 陈懋弘, 李忠阳, 李青, 等. 初论广西大瑶山地区多期次花岗质岩浆活动与成矿系列 [J]. 地学前缘, 2015, 22 (2): 41-53.
- [6] 华仁民, 张文兰, 陈培荣, 等. 初论华南加里东花岗岩与大规模成矿作用的关系 [J]. 高校地质学报, 2013, 19 (1): 1-11.
- [7] 蒋兴洲, 康志强, 许继峰, 等. 广西大瑶山隆起宝山铜矿区斑岩体锆石 U-Pb 定年及地质意义 [J]. 桂林理工大学学报, 2015, 35 (4): 766-773.
- [8] 吴佳昌, 康志强, 冯佐海, 等. 广西大瑶山隆起区大村岩体年代学及地球化学特征 [J]. 桂林理工大学学报, 2015, 35 (4): 747-755.
- [9] 叶鸣, 张青伟, 胡华清, 等. 广西昭平县大王顶岩体花岗岩闪长斑岩年代学和地球化学特征 [J]. 桂林理工大学学报, 2015, 35 (4): 756-765.
- [10] 陈懋弘, 莫次生, 黄智忠, 等. 广西苍梧县社洞钨钼矿床花岗岩类锆石 LA-ICP-MS 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义 [J]. 矿床地质, 2011, 30 (6): 963-978.
- [11] 肖柳阳, 陈懋弘, 张志强, 等. 广西昭平湾岛金矿床类型、成矿时代及其地质意义 [J]. 地学前缘, 2015, 22 (2): 118-130.
- [12] 陈懋弘, 郭云起, 梁宾, 等. 广西苍梧县武界钨钼矿点成岩成矿年龄及岩体地球化学特征 [J]. 桂林理工大学学报, 2012, 32 (1): 1-13.
- [13] 陈富文, 李华芹, 梅玉萍. 广西龙头山斑岩型金矿成岩成矿锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究 [J]. 地质学报, 2008, 82 (7): 921-926.
- [14] 李巍, 韦有福, 廖开立, 等. 桂东大瑶山宝山斑岩铜矿床花岗岩地球化学特征及其与成矿的关系 [J]. 华南地质与矿产, 2014, 30 (2): 88-98.
- [15] 胡升奇, 周国发, 彭松柏, 等. 广西大黎铜钼矿石英二长 (斑) 岩年代学、地球化学特征及其地质意义 [J]. 地球学报, 2012, 33 (1): 23-37.
- [16] 李献华, 祁昌实, 刘颖, 等. 扬子块体西缘新元古代双峰式火山岩成因: Hf 同位素和 Fe/Mn 新制约 [J]. 科学通报, 2005, 50 (19): 2155-2160.
- [17] Li X H, Zhou H W, Chung S L, et al. Geochemical and Sr-Nd isotopic characteristics of late paleogene ultrapotassic magmatism in southeastern Tibet [J]. International Geology Review, 2002, 44 (6): 559-574.
- [18] Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L, et al. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology [J]. Chemical Geology, 2004, 211 (1-2): 47-69.
- [19] Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths [J]. Journal of Petrology, 2009, 51 (1-2): 537-571.
- [20] Ludwig K R. User's manual for ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [R]. Berkeley Geochronology Center, California, Berkeley, 2003: 39.
- [21] Anderson T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. Chemical Geology, 2002, 192

- (1-2): 59-79.
- [22] Yuan H L, Gao S, Dai M N, et al. Simultaneous determinations of U-Pb age, Hf isotopes and trace element compositions of zircon by excimer laser-ablation quadrupole and multiple-collector ICP-MS [J]. *Chemical Geology*, 2008, 247: 100-118.
- [23] Compston W, Williaitis I S, Kirschvink J L, et al. Zircon U-Pb Ages for the Early Cambrian time-scale [J]. *Journal of the Geological Society*, 1992, 149 (2): 171-184.
- [24] Morrison G W. Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association [J]. *Lithos*, 1980, 13: 97-108.
- [25] Peccerillo R, Taylor S R. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1976, 58: 63-81.
- [26] Middlemost E A K. Magmas and magmatic rocks: An introduction to igneous petrology [M]. London: Longman, 1985.
- [27] 张芳荣. 江西中-南部加里东期花岗岩地质地球化学特征及其成因 [D]. 南京: 南京大学, 2011.
- [28] Sun S-s, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and process [C] //Saunders A D and Norry M J. Implications for mantle composition and process, magmatism in the ocean basins. Geological Society, London, Special Publication, 1989, 42: 313-345.
- [29] 广西地质局区测队. 鹿寨县幅 G49C004002 1/25 万区域地质调查报告 [R]. 桂林: 广西区域地质调查研究院, 2004.
- [30] 赵振华, 熊小林, 韩小东. 花岗岩稀土元素四分组效应形成机理探讨——以千里山和巴尔哲花岗岩为例 [J]. *中国科学: 地球科学*, 1999, 29 (4): 331-338.
- [31] Chappell B W, White A J R. Two contrasting granite types: 25 years later [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 2001, 48 (4): 489-499.
- [32] King P L, Chappell B W, Allen C M, et al. Are A-type granites the high-temperature felsic granites? Evidence from fractionated granites of the Wangrah Suite [J]. *Australian Journal of Earth Sciences*, 2001, 48: 501-514.
- [33] Collins W J, Beams S D, White A J R, et al. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1982, 80: 189-200.
- [34] Eby G N. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis [J]. *Lithos*, 1990, 26 (1-2): 115-134.
- [35] Eby G N. Chemical subdivision of the A-type granitoid: Petrogenetic and tectonic implications [J]. *Geology*, 1992, 20 (7): 641-644.
- [36] Loiselle M C, Wones D R. Characteristics and origin of anorogenic granites [J]. *Geological Society of America*, 1979, 11: 468.
- [37] Sylvester P J. Post-collisional alkaline granites [J]. *The Journal of Geology*, 1989, 97: 261-280.
- [38] Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis [J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1987, 95: 407-419.
- [39] 吴福元, 李献华, 杨进辉, 等. 花岗岩成因研究的若干问题 [J]. *岩石学报*, 2007, 23 (6): 1217-1238.
- [40] Chappell B W. Aluminium saturation in I- and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites [J]. *Lithos*, 1999, 46, 535-551.
- [41] Li X H, Li Z X, Li W X, et al. U-Pb zircon, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on age and origin of Jurassic I- and A-type granites from central Guangdong, SE China: A major igneous event in response to foundering of a subducted flat-slab [J]. *Lithos*, 2007, 96 (1-2): 186-204.
- [42] Wu F Y, Jahn B M, Wilde S A, et al. Highly fractionated I-type granites in NE China (I): Geochronology and petrogenesis [J]. *Lithos*, 2003, 66 (3-4): 241-273.
- [43] Chappell B W. Aluminium saturation in I- and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites [J]. *Lithos*, 1999, 46 (3): 535-551.
- [44] 李献华, 李武显, 李正祥. 再论南岭燕山早期花岗岩的成因类型与构造意义 [J]. *科学通报*, 2007, 52 (9): 981-992.
- [45] 刘腾飞. 桂东古里脑斑岩体地质及金矿化的地球化学特征 [J]. *黄金地质科技*, 1994 (2): 52-57.
- [46] 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.
- [47] 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.
- [48] 舒良树. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带 [J]. *高校地质学报*, 2006, 12 (4): 418-431.
- [49] Shu L S, Faure M, Jiang S Y. SHRIMP zircon U-Pb age, litho- and biostratigraphic analyses of the Huaiyu Domain in South China: Evidence for a Neoproterozoic orogen, not Late Paleozoic-Early Mesozoic collision [J]. *Episodes*, 2006, 29 (4): 244-252.
- [50] Shu L S, Faure M, Wang B, et al. Late Palaeozoic-Early Mesozoic geological features of South China: Response to the Indosinian collision events in Southeast Asia [J]. *Comptes Rendus Geosci.*, 2007, 340 (2-3): 151-165.
- [51] Li W X, Li X H, Li Z X. Neoproterozoic granitoids bimodal magmatism in the Cathaysia Block of South China and its tectonic significance [J]. *Precambrian Research*, 2005, 136:

- 51 - 66.
- [52] Li Z X , Li X H , Wartho J A , et al. Magmatic and metamorphic events during the early Paleozoic Wuyi-Yunkai orogeny , southeastern South China: New age constraints and pressure-temperature conditions [J]. *Geol. Soc. Am. Bull.* , 2010 , 122: 772 - 793.
- [53] Wan Y S , Liu D Y , Wilde S A , et al. Evolution of the Yunkai Terrane , South China: evidence from SHRIMP zircon U - Pb dating , geochemistry and Nd isotope [J]. *J. Asian Earth Sci.* , 2010 , 37: 140 - 153.
- [54] Zhao K D , Jiang S Y , Sun T , et al. Zircon U - Pb dating , trace element and Sr - Nd - Hf isotope geochemistry of Paleozoic granites in the Miaoshan-Yuechengling batholith , South China: Implication for petrogenesis and tectonic-magmatic evolution [J]. *J. Asian Earth Sci.* , 2013 , 74: 244 - 264.
- [55] Wang Y J , Fan W M , Zhang G W , et al. Phanerozoic tectonics of the South China Block: Key observations and controversies [J]. *Gondwana Res.* , 2013 , 23: 1273 - 1305.
- [56] Peng T P , Fan W M , Zhao G C , et al. Petrogenesis of the early Paleozoic strongly peraluminous granites in the Western South China Block and its tectonic implications [J]. *Journal of Asian Earth Sciences* , 2015 , 98 , 399 - 420.
- [57] Perace J A. Sources and settings of granitic rocks [J]. *Episodes* , 1996 , 19 (4) : 120 - 125.
- [58] Pearce J A , Harris N B W , Trindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. *Journal of Petrol.* , 1984 , 25 (4) : 956 - 983.

Zircon U - Pb age and geochemistry of Dajin granitic pluton in Dayaoshan area , Guangxi

XIONG Song-quan¹ , KANG Zhi-qiang^{1,2} , FENG Zuo-hai¹ , PANG Chong-jing¹ ,
FANG Gui-cong¹ , ZHANG Qing-wei¹ , WU Jia-chang¹ , JIANG Xing-zhou¹

(1. a. College of Earth Sciences; b. Guangxi Key Laboratory of Hidden Metallic Ore Deposits Exploration , Guilin University of Technology , Guilin 541004 , China; 2. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry , Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences , Guiyang 550002 , China)

Abstract: Dajin granitic pluton is located in the Dajin village of Jinxiu county , Dayaoshan area of Guangxi. There is no systemic research about its formation age and genetic mechanism up to now. This thesis carried out a detailed geological , isotope petrological and geochemical study on Dajin granitic pluton by LA-MC-ICP-MS dating technique U - Pb chronology of zircons from the monzogranite. The results show that the gained ideal age of 457.7 ± 1.2 Ma ($n = 14$, $MSWD = 1.80$) is the product of magmatism in South China Caledonian period. The thin section examination and major elements analysis show that the main rocks(monzogranite types) make up the Dajin granitic pluton. The granitic pluton geochemical study indicates that SiO_2 value is in the range of 76.36% - 77.35% ; K_2O is in the range of 5.01% - 7.47% . The mean value of $K_2O + Na_2O$ is 7.96% ; $K_2O/Na_2O > 1.31$, suggesting a high-K calc-alkaline or shoshonitic nature. A/CNK is in the range of 0.98 - 1.76 , suggesting a nature from peraluminous to strongly peraluminous. The zircon saturation temperatures is within the range of 758 - 791 °C. On the whole , trace elements show relative enrichment of Rb , Th , U and Pb; but with a severe depletion in Ba , Sr and Eu. Geochemical characteristics of rare earth elements have a M-type tetrad effect. The above features indicate that Dajin rock mass is I-type granite , and it has experienced a higher degree of separation and crystallization. The Dajin granitic pluton was formed in a continental intraplate setting and corresponding to the syn-collisional stage.

Key words: granite; LA-(MC)-ICP-MS zircon U - Pb dating; geochemical; Dajin granitic pluton; Dayaoshan area; Guangxi