

文章编号: 1674-9057(2015)04-0747-09

doi: 10.3969/j.issn.1674-9057.2015.04.012

广西大瑶山隆起区大村岩体年代学及地球化学特征

吴佳昌¹, 康志强^{1,2}, 冯佐海¹, 方贵聪¹, 庞崇进¹, 张青伟¹,
熊松泉¹, 蒋兴洲¹, 周国发³

(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; 3. 广西地质调查院, 南宁 530023)

摘要: 广西大瑶山隆起区中部的大村岩体, 岩性主要为细粒花岗闪长岩。采用 LA-(MC)-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素定年技术, 获得了该岩体的结晶年龄为 451.5 ± 1.3 Ma ($MSWD = 0.0014$), 其形成时代为晚奥陶世, 属于加里东晚期岩浆活动的产物。大村岩体岩石含角闪石 5%~10%, 具低 SiO_2 (60.74%~64.53%) 和 K_2O/Na_2O 值 (0.63~0.89), 属准过铝质-弱过铝质钙碱性系列; Rb、Th、U、Pb 等元素强烈富集, Ba、Nb、Ta 及 Ti 等元素亏损; 稀土总量较低, ΣREE 为 $(58.93 \sim 99.14) \times 10^{-6}$, $\delta Eu = 0.75 \sim 0.83$, 具弱的负铕异常。综合判断属于 I 型花岗岩, 应为陆内造山运动早期碰撞挤压背景下岩浆活动的产物。

关键词: 花岗闪长岩; LA-(MC)-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年; 地球化学; 大村岩体; 大瑶山隆起区
中图分类号: P597.3; P588.122 **文献标志码:** A

大瑶山地区位于广西中东部, 面积约 1.8 万 km^2 , 大地构造位置上属于南华活动带桂中-桂东北褶皱系之大瑶山隆起。前人对该区岩浆岩做了大量的地质研究工作, 取得了一系列的研究成果^[1-6]。研究表明, 大瑶山地区岩浆岩主要发育有加里东期和燕山期两期^[1,3-4](图 1a): 加里东期花岗岩多呈岩脉、岩墙、小岩株产出, 由闪长岩、花岗闪长(斑)岩等中酸性岩岩组成, 年龄多为 432.0~468.2 Ma, 成因类型为幔源同熔型(I型)花岗岩^[1-2,5-6]; 而燕山期花岗岩多呈岩株、岩基产出, 少部分呈岩脉产出, 主要由黑云母花岗岩、二长花岗岩、闪长花岗岩等酸性岩组成, 年龄多在 91.0~168.7 Ma, 属于改造型(S型)花岗岩^[1,3]。大村岩体位于大瑶山隆起区中部, 是该区加里东期代表性花岗岩之一。前人对其进行了锆石 U-

Pb 年代学研究, 测得其年龄为 456.9 ± 2.0 Ma^[1], 但地球化学研究目前尚处空白, 因此, 本文对大村岩体进行了系统的年代学和地球化学研究, 厘定其成岩时代和成因类型, 进而对其形成构造背景加以约束。

1 地质背景

大瑶山隆起区位于扬子陆块与华夏陆块拼合处(图 1b), 区域上断裂较发育, 主要发育南北向和北东向断裂。区内出露的地层主要为寒武系和震旦系。寒武系为一套浅海相类复理式砂泥质沉积岩, 下部夹 3~4 层硅质岩, 个别地方上部夹透镜状灰岩或大理岩(广西苍梧县岭脚镇附近)。震旦系岩性以轻微变质的粗-中粒砂岩、细砂岩、粉砂岩为主, 夹数层页岩、硅质岩及硅质页岩。广

收稿日期: 2015-05-25

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: 吴佳昌(1989—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 构造地质、地球化学, jiachang0512@163.com

通讯作者: 康志强, 博士, 副教授, zk99201@163.com。

引文格式: 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.

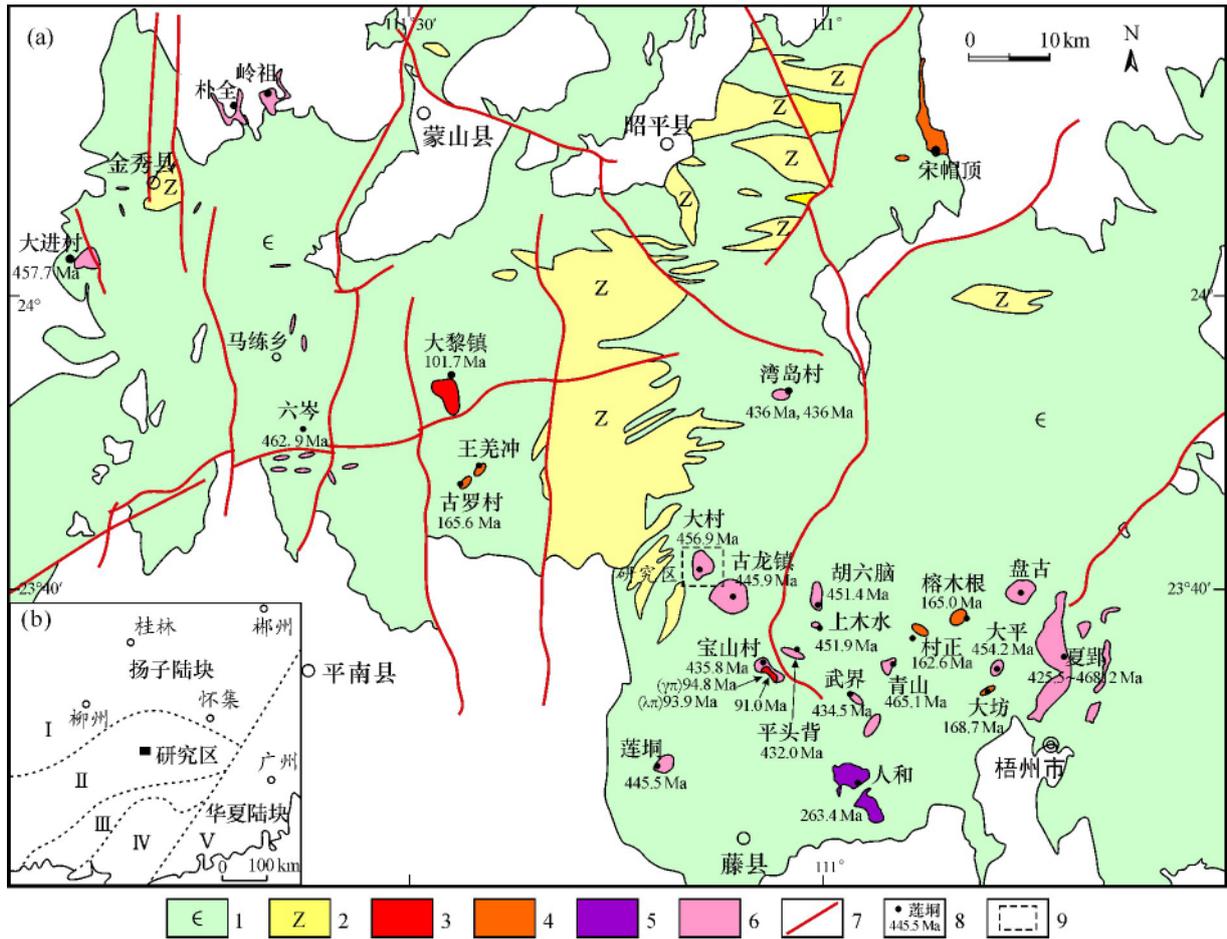


图1 广西大瑶山地区花岗岩类时空分布图 (据文献 [1, 7-9] 修改)

Fig. 1 Spatial-temporal distribution of granitoids in Dayaoshan area, Guangxi

1—寒武系砂岩夹泥岩; 2—震旦系硅质岩夹泥岩; 3—晚燕山期岩浆岩; 4—早燕山期岩浆岩; 5—海西—印支期岩浆岩; 6—加里东期岩浆岩; 7—断层; 8—地名及年龄; 9—研究区; I—桂中凹陷; II—大瑶山隆起; III—钦防海槽; IV—云开隆起; V—粤中凹陷

西大瑶山隆起区岩浆岩较为发育, 主要发育有古龙、大村、胡六脑、夏郢等花岗闪长岩岩株, 古袍、平头背、社山等花岗斑岩株和岩墙群 (图 1a)。

大村花岗岩体位于广西藤县古龙镇北西约 5.0 km 处, 呈长轴为北北西向的椭球状分布, 岩株状产出, 出露面积约 6.0 km², 侵入于寒武纪地层中, 接触带常见角岩化、硅化, 未接触有新地层 (图 2)。

2 岩体及样品特征

大村岩体岩性主要为浅灰白色细粒花岗闪长岩, 呈半自形粒状结构, 块状构造 (图 3)。主要组成矿物为斜长石 (31% ~ 48%)、钾长石 (1% ~ 8%)、石英 (20% ~ 30%)、黑云母 (10% ~ 23%)、角闪石 (5% ~ 10%), 副矿物主要有榍石、磷灰石、锆石、钛铁矿等。岩石蚀变类型主要有绢云母化、绿泥石化、硅化、碳酸盐化等。斜长石呈半自

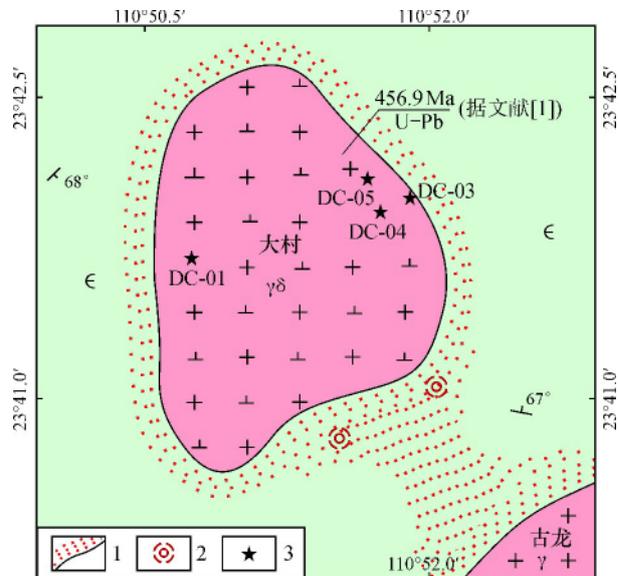


图2 大村岩体地质简图

Fig. 2 Simplified geological map of Dacun granitic pluton
€—寒武系砂岩夹泥岩; γδ—花岗闪长岩; γ—花岗岩;
1—角岩化; 2—硅化; 3—采样位置

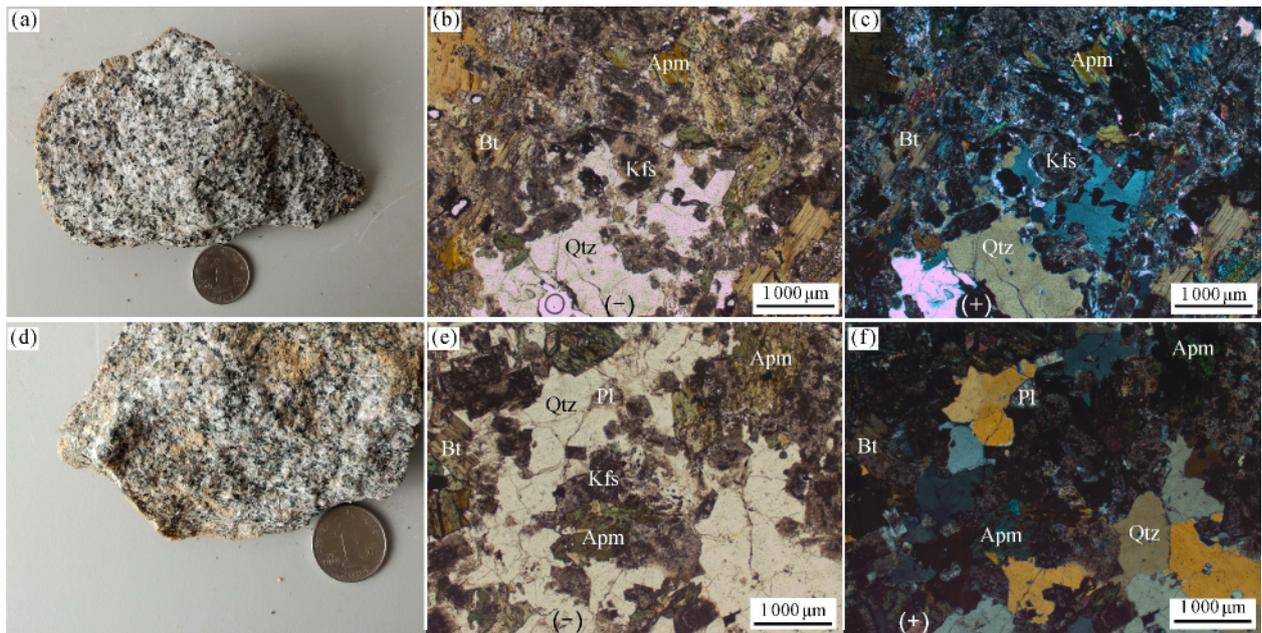


图3 大村花岗闪长岩标本及显微镜下照片

Fig. 3 Photos and microphotographs of Dacun granodiorite

样品 DC-01 (a、b、c); 样品 DC-04 (d、e、f); Qtz—石英; Kfs—钾长石; Pl—斜长石; Bt—黑云母; Amp—角闪石

形板状, 具明显的聚片双晶, 粒径一般 1 ~ 3 mm; 钾长石表面较脏, 呈半自形板柱状, 粒径一般 0.8 ~ 2 mm; 石英呈他形粒状, 粒径一般 0.5 ~ 2.5 mm, 充填于其他矿物的空隙当中; 黑云母呈片状, 斑晶大小不一, 一组完全解理; 角闪石为长柱状, 呈浅黄绿色, 部分发生了绿泥石化。

3 分析测试方法

本次研究一共采集了 4 件细粒花岗闪长岩样品, 具体采样位置见图 2。

用于年龄测试的岩石样品经破碎成粉末、人工淘洗、电磁分选和重液分选后, 在双目镜下挑选出晶形较好、透明度高的锆石晶体, 在重庆宇劲科技有限公司进行制靶和阴极发光图像扫描, 在天津地质调查中心实验室采用 LA-(MC)-ICP-MS 进行锆石 U-Pb 年龄测试分析。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, 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 进行, 年龄计算及谐和图的绘制采用 Isoplot 3.23 进行, 测试中的误差标准为 1σ。

全岩样品分析在中国科学院广州地球化学研究所完成, 其中主量元素利用 X 射线荧光光谱法测定, 分析相对误差小于 2% ~ 5%; 微量元素分析在电感耦合等离子质谱仪(ICP-MS) 上进行, 分析精度优于 10%。

4 LA-(MC)-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年分析

本次研究采集了 1 件细粒花岗闪长岩样品(DC-05) 进行锆石 U-Pb 年龄测试分析, 分析结果见表 1。

大村岩体细粒花岗闪长岩中的锆石多呈典型的长柱状, 多数透明度较好, 柱面和锥面均清晰可见, 锆石颗粒长度在 150 ~ 300 μm, 个别大于 300 μm, 宽 60 ~ 150 μm, 长宽比一般介于 1:1 和 4:1 之间。锆石阴极发光(CL) 图像显示(图 4b), 锆石具明显的岩浆振荡环带结构, 锆石 Th/U 值为 0.35 ~ 1.08, 显示出典型的岩浆锆石特征。其中 2 号锆石存在老的继承核, 其内部环带模糊, 呈现为椭圆状晶形, 边缘有溶蚀、圆化和重结晶的迹象, 具有源区继承锆石的特点。

24 个测点中, 共有 16 个分析点位于 U-Pb 谐和线上及其附近, 除 2 号锆石外的 15 粒锆石

表1 大村岩体(样品 DC-05) LA-(MC)-ICP-MS 锆石 U-Pb 分析结果
Table 1 Zircon U-Pb results of Dacun granitic pluton (Sample DC-05)

测点	$w_B/10^{-6}$		Th/U	同位素比值及误差				年龄及误差/Ma			
	U	Th		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$\pm 1\sigma$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$\pm 1\sigma$
1	285	149	0.48	0.585 9	0.005 2	0.072 6	0.000 2	468	3.3	452	1.5
2	141	102	0.72	1.512 6	0.008 9	0.156 3	0.000 7	936	3.6	936	3.9
3	337	134	0.35	0.554 3	0.004 1	0.072 5	0.000 4	448	2.7	451	2.3
4	321	135	0.39	0.556 3	0.005 2	0.072 5	0.000 4	449	3.4	451	2.3
5	318	127	0.43	0.582 1	0.005 8	0.072 6	0.000 4	466	3.7	452	2.3
6	289	131	0.49	0.566 8	0.005 6	0.072 6	0.000 6	456	3.6	452	3.4
7	283	157	1.07	0.561 6	0.004 4	0.072 5	0.000 4	453	2.8	451	2.2
8	267	166	0.97	0.560 9	0.004 4	0.072 6	0.000 4	452	2.9	452	2.4
9	302	149	0.57	0.574 7	0.008 2	0.072 5	0.000 4	461	5.3	451	2.5
10	262	172	1.08	0.571 1	0.004 0	0.072 6	0.000 2	459	2.6	452	1.5
11	256	171	0.56	0.581 7	0.006 6	0.072 5	0.000 3	466	4.3	451	1.8
12	274	161	0.89	0.577 0	0.004 2	0.072 5	0.000 3	463	2.7	451	2.0
13	296	156	0.59	0.562 3	0.011 3	0.072 6	0.000 2	453	7.4	452	1.5
14	345	129	0.54	0.562 0	0.004 7	0.072 5	0.000 2	453	3.1	451	1.5
15	279	153	0.91	0.581 2	0.005 0	0.072 6	0.000 4	465	3.2	452	2.6
16	319	155	0.96	0.560 2	0.007 2	0.072 5	0.000 3	452	4.7	451	1.9

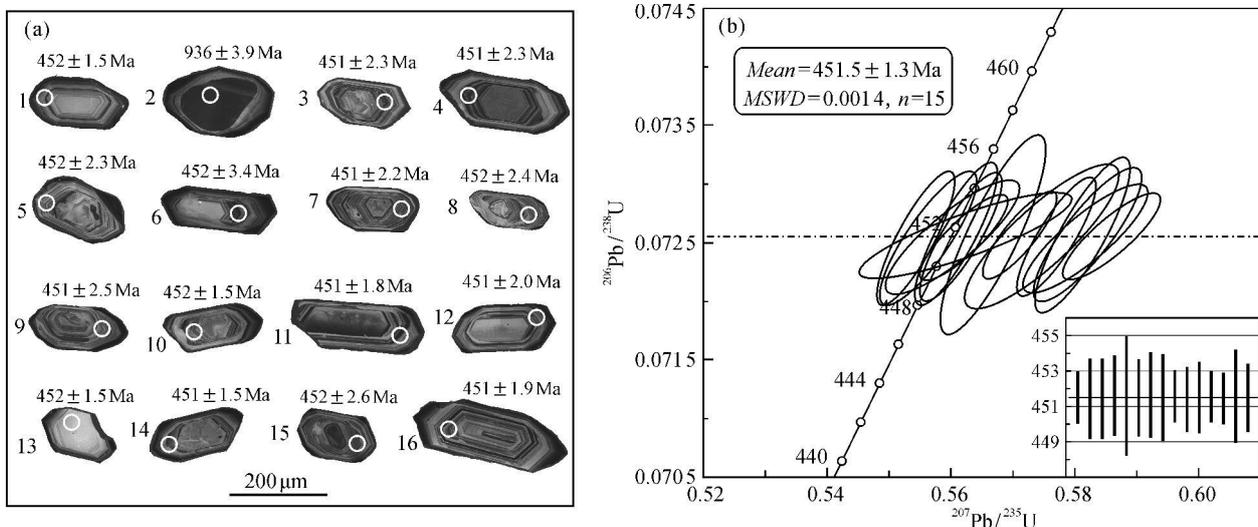


图4 锆石阴极发光图像(a)和U-Pb年龄谐和图(b)
Fig. 4 Zircon CL images (a) and U-Pb concordia diagram (b)

$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 451.5 ± 1.3 Ma (95% 以上的置信度, $MSWD = 0.0014$) (图4b), 代表了细粒花岗闪长岩的结晶年龄, 为晚奥陶世。2号锆石内部环带模糊, 边沿呈现出溶蚀、圆化和重结晶的迹象, 测得其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 936 ± 3.9 Ma, 老于岩浆锆石的年龄, 可能为岩浆上侵时捕掳的锆石的年龄或者是继承锆石的年龄。

5 岩石地球化学特征

大村细粒花岗闪长岩的主量元素分析结果见表2, 在 $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 图解上(图5), 所有

样品投影在亚碱性系列区, 其中3个样品落于花岗闪长岩范围内, 1个样品落在闪长岩区域, 其 SiO_2 含量为 60.74% ~ 64.53%, TiO_2 含量为 0.35% ~ 0.47%, Fe_2O_3 的含量为 5.80% ~ 6.89%, Al_2O_3 含量为 15.56% ~ 17.05%, CaO 的含量为 3.93% ~ 5.08%, MgO 的含量为 2.13% ~ 2.86%, P_2O_5 的含量变化为 0.12% ~ 0.14%, K_2O 和 Na_2O 的含量变化分别为 1.80% ~ 2.24% 和 2.16% ~ 3.22%, 显示出高 Ti、Fe、Al、Ca、Mg, 低 Si、K、Na、P 的特点。 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值小于 1, 在 $\text{SiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ 图解(图6)上, 样品落入了钙碱性系

表 2 大村岩体主量元素分析结果

Table 2 Major element compositions of Dacun granitic pluton

样号	$w_B / \%$			
	DC-01	DC-03	DC-04	DC-05
SiO ₂	60.74	64.53	64.14	63.35
TiO ₂	0.47	0.37	0.35	0.40
Al ₂ O ₃	17.05	16.10	15.56	15.62
Fe ₂ O ₃ ^T	6.89	5.80	5.66	6.03
MnO	0.18	0.15	0.20	0.16
MgO	2.86	2.16	2.13	2.43
CaO	4.25	3.93	5.12	5.08
Na ₂ O	2.16	2.85	3.04	3.22
K ₂ O	1.91	1.80	2.24	2.10
P ₂ O ₅	0.14	0.12	0.12	0.13
LOI	3.33	2.46	0.75	1.12
Total	99.98	100.27	99.31	99.63
Mg#	51.2	51.6	50.6	49.0
FeO ^T	3.82	3.54	4.60	4.57
K ₂ O/Na ₂ O	1.13	1.59	1.35	1.54

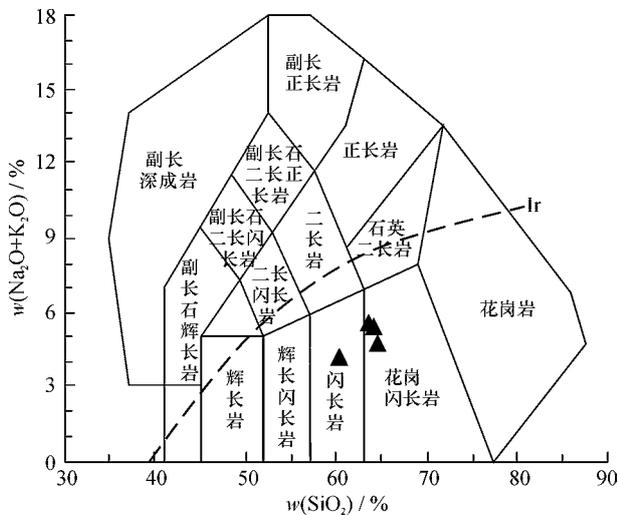


图 5 SiO₂ - (Na₂O + K₂O) 图解 (仿文献 [10])

Fig. 5 SiO₂ - (Na₂O + K₂O) diagram

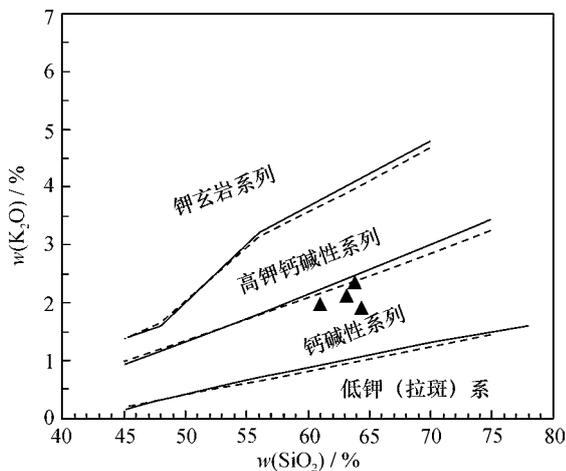


图 6 SiO₂ - K₂O 图解 (仿文献 [11 - 12])

Fig. 6 SiO₂ - K₂O diagram

列范围内。在 A/CNK - A/NK 图中 (图 7), 样品落在准铝质 - 过铝质系列区。

大村岩体的微量元素分析结果如表 3 所示。在微量元素原始地幔标准化蛛网图 (图 8) 中, 样品数据总体呈现右倾特征, 强烈富集大离子亲石元素 Rb 和高场强元素 Th、U、Pb, 明显亏损 Ba、Nb、Ta 及 Ti 等元素; 与原始地幔相比, 所有的元素均大于 1, 多数大于 10。

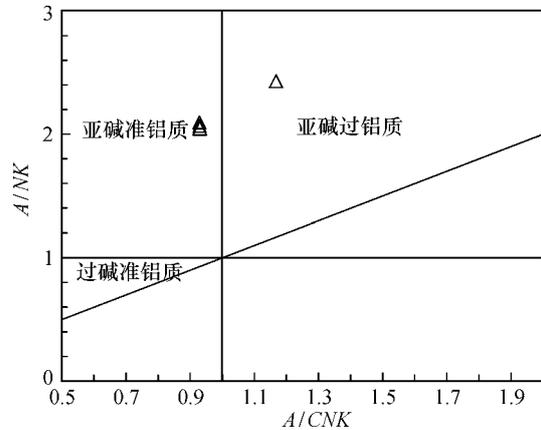


图 7 A/CNK - A/NK 图解 (仿文献 [13])

Fig. 7 A/CNK - A/NK diagram

表 3 大村岩体微量元素分析结果

Table 3 Trace element compositions of Dacun

样号	$w_B / 10^{-6}$		
	DC-03	DC-04	DC-05
Rb	65.18	86.69	85.80
Ba	529.90	681.30	704.50
Th	11.96	11.10	18.10
U	3.57	3.99	3.00
Nb	8.62	9.10	9.01
Ta	0.89	0.94	0.80
Pb	23.66	28.58	41.81
Sr	244.80	230.30	243.30
Zr	107.10	89.82	94.30
Hf	3.50	3.10	2.99
Ti	2 183.60	2 149.90	2 458.80
Y	20.73	17.40	18.36
Sc	13.12	14.34	16.61
V	108.00	105.50	121.90
Cr	15.57	20.51	17.79
Mn	1 083.60	1 472.20	1 207.80
Co	12.29	12.31	13.13
Ni	9.53	12.95	10.38
Cu	8.73	37.47	41.48
Zn	58.93	61.79	67.22
Ga	16.22	16.11	16.79
Ge	2.07	1.89	2.04
Cs	4.28	5.55	4.90

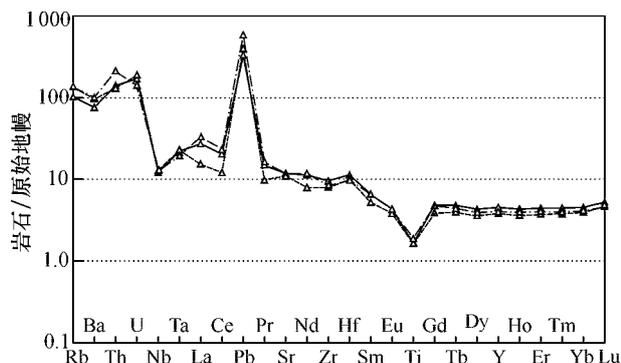


图8 微量元素原始地幔标准化蛛网图
(原始地幔值据文献 [14])

Fig. 8 Primitive mantle-normalized trace element spidergrams

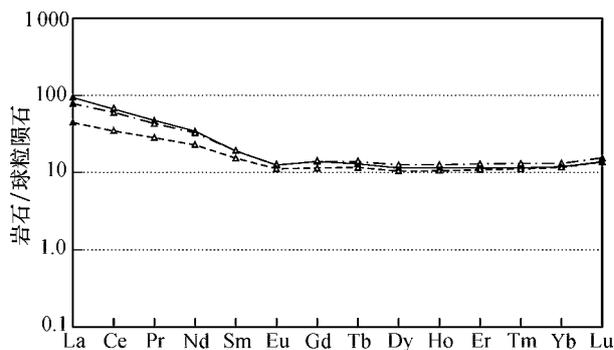


图9 稀土元素球粒陨石标准化配分图
(球粒陨石标准值据文献 [15])

Fig. 9 Chondrite-normalized REE patterns

大村岩体稀土元素分析结果及特征参数见表4。样品的稀土元素含量偏低, ΣREE 值为 $(58.93 \sim 99.14) \times 10^{-6}$, 配分曲线呈明显的右倾模式(图9); 轻稀土相对富集, $\text{LREE}/\text{HREE} = 4.63 \sim 7.65$, $(\text{La}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值变化范围 $3.86 \sim 7.84$, $(\text{La}/\text{Sm})_{\text{N}}$ 值为 $2.94 \sim 4.88$, $(\text{Gd}/\text{Yb})_{\text{N}}$ 值为 $0.98 \sim 1.15$, 轻重稀土分馏较明显; 具轻微负 Eu 异常, δEu 为 $0.75 \sim 0.83$ 。

6 讨论

6.1 形成时代

采用高精度的 LA-(MC)-ICP-MS 锆石 U-Pb

表4 大村岩体稀土元素分析结果

Table 4 REE element compositions of Dacun granitic pluton

样号	DC-03	DC-04	DC-05
La	18.67	10.62	22.26
Ce	36.21	21.41	41.21
Pr	4.15	2.71	4.56
Nd	15.24	10.75	15.98
Sm	2.95	2.33	2.95
Eu	0.73	0.65	0.72
Gd	2.89	2.34	2.84
Tb	0.52	0.43	0.48
Dy	3.19	2.67	2.91
Ho	0.72	0.60	0.65
Er	2.13	1.81	1.91
Tm	0.33	0.28	0.30
Yb	2.25	1.97	2.04
Lu	0.39	0.35	0.35
ΣREE	90.38	58.93	99.14
LREE	77.95	48.47	87.68
HREE	12.42	10.46	11.46
LREE/HREE	6.27	4.63	7.65
δEu	0.76	0.83	0.75

法对大村岩体细粒花岗闪长岩的岩浆锆石进行测试分析, 获得了 $451.5 \pm 1.3 \text{ Ma}$ (95% 以上的置信度, $MSWD = 0.0014$) 的锆石结晶年龄, 与陈懋弘等^[1]测得的 $456.9 \pm 2 \text{ Ma}$ 基本一致, 从而厘定了大村岩体的形成时代为晚奥陶世, 属于加里东晚期岩浆活动的产物。

6.2 岩石类型

根据岩浆来源, 花岗岩可分为 I 型和 S 型两类。其中, I 型花岗岩源岩为未经风化的火成岩, 而 S 型花岗岩源岩为经风化后的沉积岩。因此两者在成分上有一定区别^[16-18]。大村岩体的测试结果表明, 其矿物组合中含角闪石、黑云母、榍石等矿物, 属于准铝质-过铝质花岗岩; SiO_2 含量变化范围为 $60.74\% \sim 64.53\%$, 均值为 63.19% ; $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 值较低 ($0.63 \sim 0.89$); $100\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{Fe}^{2+})$ 均值为 53% ; 具轻微负 Eu 异常。以上特征与典型的 I 型花岗岩更加相符^[16-18]。

此外, 大村岩体的 P_2O_5 含量与 SiO_2 呈负相关关系(图 10a), 也表现出 I 型花岗岩的特征。在准铝质至弱过铝质岩浆中 ($A/\text{CNK} < 1.1$), 磷灰石溶解度低, 在岩浆分异过程中易过饱和而从岩浆中分离结晶, 导致 P_2O_5 含量随 SiO_2 含量增加而降低^[19], 而 S 型花岗岩则往往有着高的 P_2O_5 含量, 并与 A/CNK 值呈正相关趋势^[16, 20-21]。在花岗岩成因判别图 $\text{Ce} - \text{SiO}_2$ 图解中(图 10b) 可知, 全部样品落入了 I 型花岗岩内; 在 ACF 图解上(图 11), 所有样品也落在了 I 型花岗岩范围内, 进一步表明大村岩体细粒花岗闪长岩应为 I 型花岗岩。

6.3 构造背景

前人研究表明, 钙碱性 I 型花岗岩既可出现在板块俯冲阶段^[24], 也可在后碰撞阶段形成^[25]。

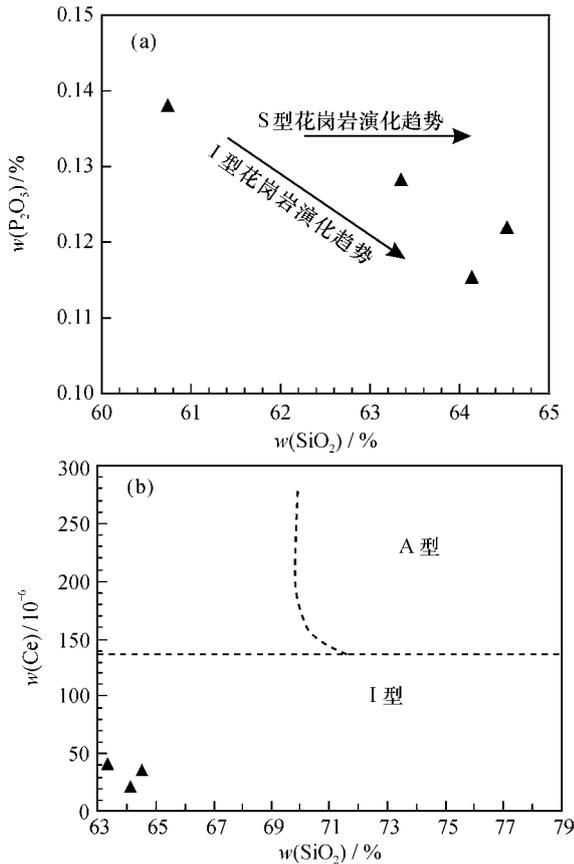


图 10 SiO₂ - P₂O₅ (a) 和 SiO₂ - Ce (b) 图解 (仿文献 [22])
Fig. 10 SiO₂ - P₂O₅ (a) and SiO₂ - Ce (b) diagrams

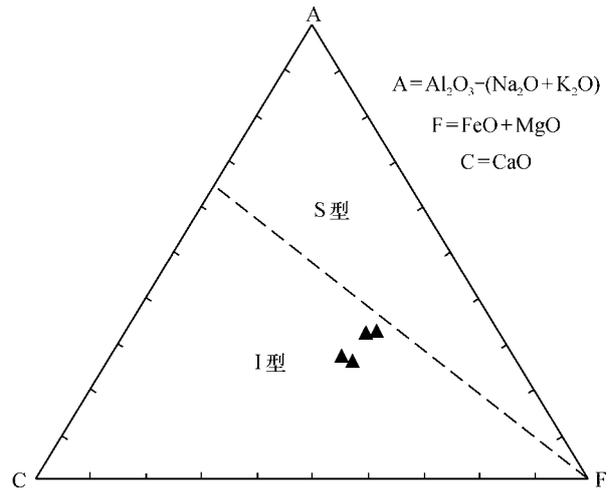


图 11 ACF 图解 (仿文献 [23])
Fig. 11 ACF diagram

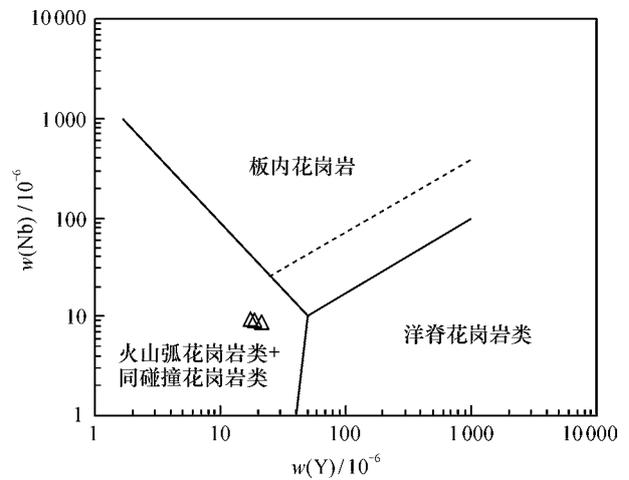


图 12 Y - Nb 图解 (仿文献 [26])
Fig. 12 Y - Nb diagram

在 Y - Nb 图解中 (图 12), 大村岩体样品全部投影在火山弧 - 同碰撞花岗岩区; 在 Si - Fe - Mg - Ca 等构成的花岗岩构造环境系列判别图上 (图 13), 全部样品落在了岛弧花岗岩类 (IAG) + 大陆花岗岩类 (CAG) + 大陆碰撞花岗岩类 (CCG) 范围

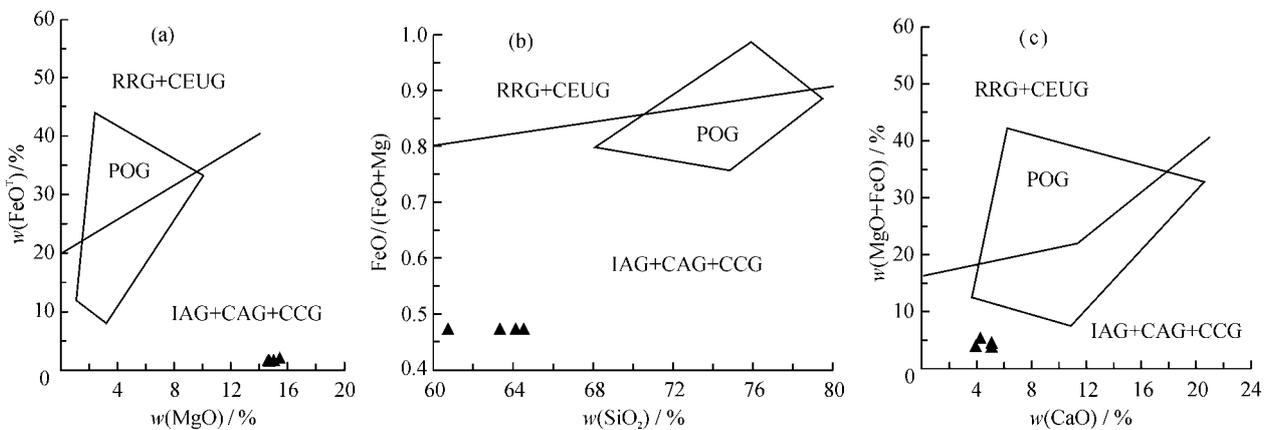


图 13 大村岩体 Si - Fe - Mg - Ca 构造环境判别图解 (仿文献 [27])

Fig. 13 Si - Fe - Mg - Ca discrimination diagrams for tectonic settings of Dacun granitic pluton

IAG—岛弧花岗岩类; CAG—大陆花岗岩类; CCG—大陆碰撞花岗岩类; POG—造山后花岗岩类; RRG—与裂谷有关的花岗岩类; CEUG—陆内造陆隆起花岗岩类

内。在早古生代,华南大陆发生了加里东期陆内造山运动,从而导致云开陆块与桂滇-北越陆块近南北向碰撞,造成了在两陆块拼合部位的大瑶山地区隆起,整体形成了大瑶山复式背斜,同时伴随着大规模的岩浆活动^[22,28-31]。因此,结合区域构造演化背景,笔者倾向于认为大村岩体应该形成于陆内造山运动早期碰撞挤压背景下。

7 结论

LA-(MC)-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年结果表明,大村花岗闪长岩的结晶年龄为 451.5 ± 1.3 Ma ($MSWD = 0.0014$),形成时代为晚奥陶世,属于加里东晚期岩浆活动的产物。其地球化学特征显示 I 型花岗岩属性。综合地质与地球化学证据,大村岩体的形成构造背景应为陆内造山运动早期碰撞挤压背景。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 程顺波,付建明,徐德明,等. 桂东北大宁岩体锆石 SHRIMP 年代学和地球化学研究 [J]. 中国地质, 2009, 36 (6): 1278-1288.
- [3] 广西地质局区域地质普查大队. 1:20万桂平幅区域地质图和调查报告 [R]. 桂林: 广西区域地质调查研究院, 1964.
- [4] 黄惠民,和志军,崔彬. 广西大瑶山地区花岗岩成矿系列 [J]. 地质与勘探, 2003, 39 (4): 12-16.
- [5] 刘腾飞. 桂东花岗岩类特征及其与金矿关系 [J]. 广西地质, 1993, 6 (4): 77-86.
- [6] 骆靖中. 桂东地区花岗岩类与金银成矿的关系 [J]. 桂林冶金地质学院学报, 1993, 13 (4): 329-339.
- [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 定年及其地质意义 [J]. 桂林理工大学学报, 2015, 35 (4): 766-773.
- [8] 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.
- [9] 叶鸣,张青伟,胡华清,等. 广西昭平县大王顶岩体花岗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] Morrison G W. Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association [J]. Lithos, 1980, 13: 97-108.
- [11] Peccerillo A, 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.
- [12] Middlemost Eric A K. Magmas and Magmatic Rocks [M]. London: Longman, 1985.
- [13] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic Discrimination of granitoids [J]. Geological Society of America Bulletin, 1989, 101 (5): 635-643.
- [14] McDonough W F, Sun S S. The composition of the earth [J]. Chemical Geology, 1995, 120 (3): 223-253.
- [15] Boynton W V. Geochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies [M] // Henderson P. Rare Earth Elements Geochemistry. Amsterdam: Elsevier, 1984: 63-144.
- [16] Chappell B W. Aluminium saturation in I- and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites [J]. Lithos, 1999, 46 (3): 535-551.
- [17] Sylvester P J. Post-collision strongly peraluminous granites [J]. Lithos, 1998, 45: 29-44.
- [18] 周刚,张招崇,罗世宾,等. 新疆阿尔泰山南缘玛因鄂博高温型强过铝花岗岩: 年龄、地球化学特征及其地质意义 [J]. 岩石学报, 2007, 23 (8): 1909-1920.
- [19] Wolf M B, London D. Apatite dissolution into peraluminous haplogranitic melts: An experimental study of solubilities and mechanisms [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1994, 58 (19): 4127-4145.
- [20] 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: 186-204.
- [21] 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: 241-273.
- [22] 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.
- [23] Chappell B W, White A J R. I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt [J]. Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences, 1992, 83: 1-26.
- [24] Pitcher W S. Granites and yet more granites forty years on [J]. Geologische Rundschau, 1987, 76 (1): 51-79.
- [25] 韩宝福. 后碰撞花岗岩类的多样性及其构造环境判别的复杂性 [J]. 地学前缘, 2007, 14 (3): 64-72.
- [26] Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks [J]. Journal of Petrology, 1984, 25 (4): 956-983.

- [27] Maniar P D , Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. Geological Society of America Bulletin , 1989 , 101: 635 - 643.
- [28] 湖升奇, 周国发, 彭松柏, 等. 广西大黎铜钨矿石英二长(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.
- [29] Faure M , Shu L S , Wang B , et al. Intracontinental subduction: A possible mechanism for the Early Paleozoic Orogen of SE China. [J]. Terra Nova , 2009 , 21 (5): 360 - 368.
- [30] 李建华. 华南中生代大地构造过程——源于北部大巴山和中部沅麻盆地、衡山的构造变形及年代学约束 [D]. 北京: 中国地质科学院, 2013.
- [31] 郝义, 李三忠, 金宠, 等. 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.

Geochronology and geochemistry of Dacun granitic pluton in Dayaoshan uplift area , Guangxi

WU Jia-chang¹ , KANG Zhi-qiang^{1,2} , FENG Zuo-hai¹ , FANG Gui-cong¹ , PANG Chong-jin¹ , ZHANG Qing-wei¹ , XIONG Song-quan¹ , JIANG Xing-zhou¹ , ZHOU Guo-fa³

(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; 3. Geological Survey of Guangxi , Nanning 530023 , China)

Abstract: The Dacun granitic pluton , located in Dayaoshan uplift area , includes mainly fine-grained granodiorite. The formation age of 451.5 ± 1.3 Ma ($MSWD = 0.0014$) is obtained by LA-(MC)-ICP-MS zircon U - Pb dating , which was formed in the Late Ordovician , due to Late Caledonian magmatic activity. The Dacun granitic pluton includes hornblende (5% - 10%) and shows the feature of low SiO_2 (60.74% - 64.53%) and K_2O/Na_2O ratio (0.63 - 0.89) , and belongs to the quasi peraluminous-weakly peraluminous calc-alkaline series. The rock is characterized by enrichment of Rb , Th , U and Pb , depletion of Ba , Ta , Nb and Ti. The REE model is characterized by low REE contents. $\sum REE$ is in the range of $(58.93 - 99.14) \times 10^{-6}$, $\delta Eu = 0.75 - 0.83$. REE distribution curve has a weak negative europium anomalies. It belongs to I-type granite , which was formed under the background of intracontinental orogeny in the early impact extrusion product of magmatic activity.

Key words: granodiorite; LA-(MC)-ICP-MS zircon U - Pb dating; geochemistry; Dacun granitic pluton; Dayaoshan uplift area