

LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating of Xinchong Syenogranite in Southwestern Fujian and Its Prospecting Significance

Aifang Xiao, Zhiqi Wang, Dунpeng Li

College of Zijin Mining, Fuzhou University, Fuzhou Fujian
Email: xaf@fzu.edu.cn

Received: May 28th, 2017; accepted: Jun. 12th, 2017; published: Jun. 15th, 2017

Abstract

The Xinchong syenogranite is located at the southeastern portion of the Hufang Compound granite, which is mainly composed of meat red patchy, coarse-grained syenogranite, generally presents a southwestward distribution and covers an area of 200 km². In this paper, the LA-ICP-MS zircon U-Pb dating results for the Xinchong syenogranite, revealed a weighted mean ²⁰⁶U/²³⁶Pb age of 222.0 ± 1.0 Ma (n = 24, MSWD = 0.53). The result shows that the emplacement age of Xinchong syenogranite is of late Triassic. By contrast, the emplacement age of Xinchong syenogranite is younger than that of the Hufang granite (Silurian), reflecting that the Hufang Compound granite is the product of magmatic activities of the Silurian and Triassic. The REE elements of the Xinchong syenogranite show that the total amount of REE elements is higher, and the LREE elements of La and Ce are enriched, has a good prospecting prospects of ion-adsorbed REE deposits, this provides important information for magmatic evolution and prospecting in the southwest of Fujian province.

Keywords

Xinchong Syenogranite, LA-ICP-MS Zircon U-Pb Dating, Late Triassic, Prospecting Significance

闽西南新冲正长花岗岩LA-ICP-MS锆石U-Pb测年及其找矿意义

肖爱芳, 王治淇, 黎敦朋

福州大学紫金矿业学院, 福建 福州
Email: xaf@fzu.edu.cn

收稿日期: 2017年5月28日; 录用日期: 2017年6月12日; 发布日期: 2017年6月15日

摘要

新冲正长花岗岩位于胡坊复式岩体东南缘, 总体呈南西向展布, 出露面积大于200 km², 岩性为肉红色斑状粗粒正长花岗岩。本文对新冲正长花岗岩样品进行了LA-ICP-MS锆石U-Pb测年, 获得²⁰⁶U/²³⁶Pb加权平均年龄为222.0 ± 1.0 Ma (n = 24, MSWD = 0.53), 表明新冲正长花岗岩侵位时代为晚三叠世, 是印支运动晚期岩浆活动的产物。通过对比, 新冲正长花岗岩的侵位时代晚于志留纪侵位的胡坊花岗岩, 表明胡坊复式花岗岩为志留纪和三叠纪岩浆活动的产物。对新冲正长花岗岩稀土元素分析, 显示新冲正长花岗岩稀土总量较高, 富集轻稀土元素La、Ce, 具有寻找离子吸附型稀土矿的良好找矿前景, 这对闽西南地区岩浆演化和找矿提供了重要新资料。

关键词

新冲正长花岗岩, LA-ICP-MS锆石U-Pb测年, 晚三叠世, 找矿意义

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

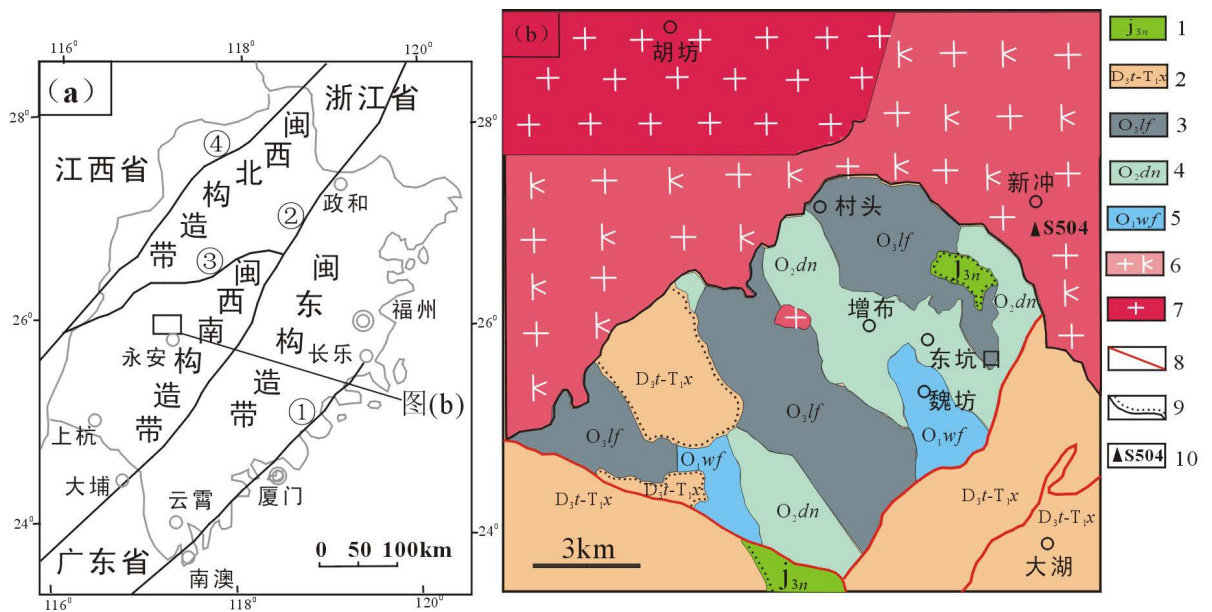
胡坊复式花岗岩分布于闽西南明溪县胡坊至永安市大湖一带, 分布面积超过 500 km², 1:25 万三明幅区域地质调查根据区域对比将胡坊复式花岗岩划分为二叠纪片麻状二长花岗岩、侏罗纪正长花岗岩和白垩纪二长花岗岩; 2011 年蒋婷对胡坊一带的细粒花岗岩和粗粒正长花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年分别获得 419.8 ± 3.2 Ma~442.9 ± 2.8 Ma 年龄[1], 表明胡坊一带的花岗岩时代为晚志留纪。我们在调查胡坊复式花岗岩时, 发现斑状正长花岗岩分布广泛, 在胡坊一带可见片麻状花岗岩、中粗粒正长花岗岩, 在永安新冲一带发现主要为斑状粗粒正长花岗岩, 并有离子吸附型稀土矿床分布。显然, 胡坊复式花岗岩是多期次岩浆活动的产物, 为了准确厘定新冲斑状正长花岗岩中的离子吸附型稀土矿床的花岗岩的时代, 本次工作对永安市新冲斑状粗粒正长花岗岩开展了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年, 并分析了稀土元素含量, 为分析稀土矿床的形成提供了同位素年代学和地球化学资料, 对区域离子吸附型稀土矿床的找矿提供了新资料。

2. 地质背景

研究区位于政和 - 大埔断裂以西的闽西南地区(图 1(a)), 主要出露古生界-中生界和志留纪、三叠纪花岗岩(图 1(b)), 褶皱和逆冲推覆构造较发育。出露地层主要为: 下古生界魏坊组、东坑口组、罗峰溪组浅变质, 上古生界天瓦崇组和桃子坑组砂砾岩、石炭系下统林地组砂砾岩、石炭系上统黄龙组、船山组碳酸盐岩和下三叠统溪口组砂岩、泥岩夹灰层, 中生界上侏罗统火山岩、火山沉积岩[2] [3] [4]。

研究区岩浆活动较强烈, 包括志留纪、三叠纪 2 期岩浆侵入作用形成的胡坊复式花岗岩和晚侏罗世 - 白垩世火山岩。

胡坊复式花岗岩分布于明溪县胡坊至永安市大湖一带, 分布面积超过 500 km²。志留纪花岗岩主要分布于胡坊一带, 主要为片麻状花岗岩、中粗粒正长花岗岩, 其区别于三叠纪花岗岩的显著特征是发育片麻状构造, 几乎没有似斑状结构; 而三叠纪花岗岩的主要特征是以似斑状结构发育为特征。三叠纪花岗



(a) 研究区构造位置图[1], ① 长乐 - 南澳断裂; ② 政和 - 大埔断裂; ③ 宁化 - 南平断裂; ④ 邵武 - 海丰断裂; (b) 区域地质简图[1]; 1, 上侏罗统南盘组; 2, 上泥盆统桃子坑组 - 下三叠统溪口组; 3, 上奥陶统罗峰溪组; 4, 中奥陶统东坑口组; 5, 下奥陶统魏坊组; 6, 三叠纪花岗岩; 7, 志留纪花岗岩; 8, 断层; 9, 角度不整合接触; 10, 锆石 U-Pb 测年采样位置及编号。

Figure 1. Tectonic location (a) and Simplified geological map (b) of Xinchong syenogranite
图 1. 新冲正长花岗岩构造位置(a)及地质简图(b)

岩主要呈北西走向分布于永安新冲一带, 主要岩性为斑状粗粒正长花岗岩: 野外露头可见岩石呈肉红色, 似斑状结构, 块状构造, 斑晶含量为 $(10\sim 20) \times 10^{-2}$, 成份全为钾长石; 基质含量为 $(70\sim 90) \times 10^{-2}$, 全为为中粗粒结构, 主要矿物成份为钾长石 $(50\sim 55) \times 10^{-2}$ 、斜长石 $(10\sim 20) \times 10^{-2}$ 、石英 $(15\sim 20) \times 10^{-2}$ 、黑云母 $(2\sim 4) \times 10^{-2}$ 和少量副矿物锆石、磁铁矿等。三叠纪花岗岩局部可见被上侏罗统不整合覆盖。

晚侏罗世 - 白垩世火山岩主要分布于永安盆地, 主要为上侏罗统南盘组流纹质火山角砾岩、角砾凝灰岩、熔结凝灰岩、流纹岩等, 白垩纪主要为坂头组凝灰岩、角砾凝灰岩、泥岩和吉山组凝灰岩、砾岩、砂泥岩。

3. 样品特征

用于测年的样品采于永安市大湖镇新冲村稀土矿区公路边(地理位置 $26^{\circ}07.32'N$, $117^{\circ}21.53'E$), 花岗岩侵位于古生界中, 与上侏罗统以后地层未直接接触。样品岩性为肉红色斑状中粗粒正长花岗岩, 岩石呈肉红色, 风化后呈浅砖红色; 似斑状结构, 块状构造主要矿物组成: 钾长石约占 $50\% \sim 55\%$, 石英约占 $30\% \sim 35\%$, 斜长石 $5\% \sim 10\%$, 黑云母约占 $3\% \sim 5\%$, 最小粒径 $3\sim 4$ mm, 钾长石最大斑晶约 20 mm。显微镜下可见钾长石高岭土化蚀变、黑云母绿泥石化蚀变。

4. 分析及测试结果

4.1. 分析方法

锆石单矿物的挑选在河北省区域地质调查队单矿物实验室中完成, 锆石显微结构、阴极发光(CL)和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素分析在西安地调中心实验室完成。

野外采集重约 3 kg 的胡坊正长花岗岩的样品, 经清洗去除污染物, 破碎后粉碎至 60~100 目, 洗去粉尘, 人工初步淘洗使重矿物富集, 然后经过电磁选, 去除电磁性部分, 保留非电磁性部分, 再经精细

淘洗获得锆石精矿，在双目镜下挑选出无裂隙、透明的锆石单矿物。在实验室将锆石单矿物制成胶饼，抛光后进行锆石的投射光、反射光显微镜研究和阴极发光(CL)照像，最后进行锆石 LA-ICP-MS U-Pb 同位素分析。其中，CL 发光仪为加载于扫描电镜上的英国 Gatan 公司的 Mono CL3+型阴极荧光探头，LA-ICP-MS 分析在 Hewlett Packard 公司的 Agilent 7500a ICP-MS 和德国 Lambda Physik 公司的 ComPex102 Excimer 激光器工作物 ArF (波长 193 nm)、MicroLas 公司的 GeoLas 200 M 光学系统的联机上进行。激光束斑直径约为 30 μm ，激光剥蚀样品的深度为 20~40 μm 。实验中采用氦气作为剥蚀物质的载气，用研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST SRM610 进行仪器最佳化。锆石年龄采用国际标准锆石 91500 作为外标标准物质，元素含量采用 NIST SRM610 作为外标， ^{29}Si 作为内标。详细分析步骤和数据处理方法见参考文献[5]。同位素比值数据处理采用 GLITTER (4.0 版)软件，年龄计算及谐和图采用 ISOPLOT (3.0 版)软件进行，误差均为 1σ ，由于数据年龄一致性、谐和性较好未进行普通铅的校正。

4.2. 分析结果

锆石在显微镜下呈无色，锆石多呈自形短柱状，少数为等轴状、长柱状，长轴一般在 100~250 μm 。锆石阴极激发光图像显出锆石内部呈现了清晰振荡环带结构(图 2)，显示为岩浆成因[6]，少数锆石 CL 图像具有核幔的结构(如 4.17)。锆石总体呈灰黑色-灰色，少数呈灰白色。样品所有锆石 Th/U 比值均大于 0.50，表明锆石为岩浆结晶形成[7] [8]。样品测年分析结果见表 1 及图 3。

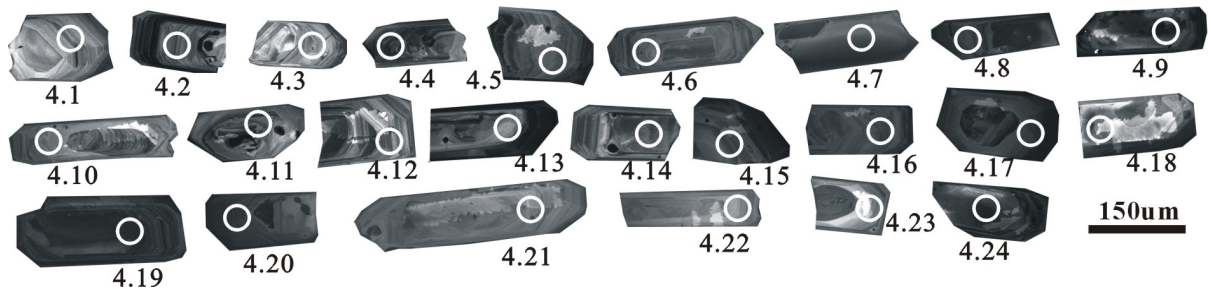


Figure 2. CL images with dots position for LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of Xinchong syenogranite
图 2. 新冲正长花岗岩锆石 CL 图及测点位置

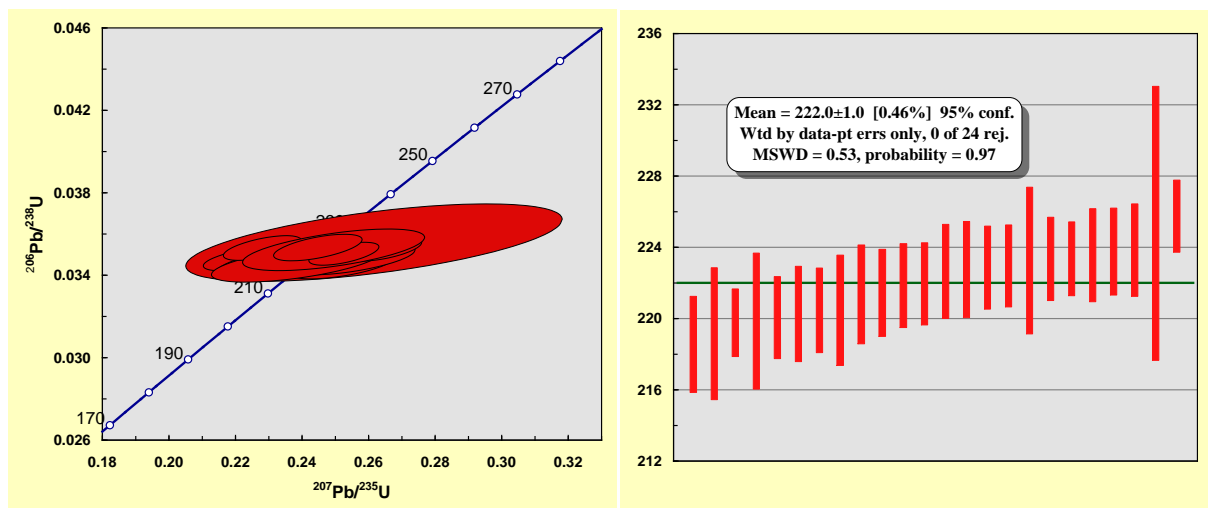


Table 1. LA-ICP-MS zircon U-Pb results of Xinchong syenogranite
表 1. 新冲正长花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年分析结果表

测点	^{232}Th	^{238}U	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$		$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		谐和度
	(10^{-6})	(10^{-6})	Ratio	Ratio	1sigma	Ratio	1sigma	Ratio	1sigma	Age (Ma)	1sigma	Age (Ma)	1sigma	Age (Ma)	1sigma	
4.1	193.27	188.47	1.03	0.05337	0.00778	0.26188	0.03712	0.03557	0.00124	344.7	300.0	236.2	30.0	225.3	7.7	105
4.2	86.26	82.89	1.04	0.05246	0.00251	0.25145	0.01090	0.03475	0.00043	305.7	105.5	227.8	8.9	220.2	2.7	104
4.3	132.59	120.23	1.10	0.04988	0.00200	0.23879	0.00834	0.03471	0.00037	189.4	90.6	217.4	6.8	220	2.3	99
4.4	185.32	203.46	0.91	0.05308	0.00245	0.25232	0.01043	0.03447	0.00043	332	101.1	228.5	8.5	218.5	2.7	105
4.5	71.38	89.21	0.80	0.05323	0.00253	0.25633	0.01101	0.03492	0.00045	338.5	104.1	231.7	8.9	221.3	2.8	105
4.6	106.47	100.42	1.06	0.05042	0.00226	0.24299	0.00979	0.03494	0.00039	214.4	100.8	220.9	8.0	221.4	2.5	100
4.7	441.26	567.74	0.78	0.05221	0.00138	0.25656	0.00472	0.03563	0.00033	294.6	59.2	231.9	3.8	225.7	2.0	103
4.8	129.04	131.24	0.98	0.05280	0.00200	0.25496	0.00825	0.03501	0.00038	320.4	83.8	230.6	6.7	221.8	2.4	104
4.9	160.63	152.37	1.05	0.04655	0.00195	0.22333	0.00824	0.03479	0.00038	26.2	97.4	204.7	6.8	220.4	2.4	93
4.10	138.16	252.99	0.55	0.05322	0.00285	0.25522	0.01256	0.03477	0.0005	338.2	116.7	230.8	10.2	220.4	3.1	105
4.11	602.29	736.49	0.82	0.05209	0.00123	0.24908	0.00353	0.03467	0.00031	289.5	53.0	225.8	2.9	219.7	1.9	103
4.12	523.85	252.87	2.07	0.05002	0.00358	0.23922	0.0162	0.03468	0.00061	196.1	158.1	217.8	13.3	219.8	3.8	99
4.13	121.19	100.01	1.21	0.05159	0.00234	0.25009	0.01018	0.03515	0.00044	267.2	100.9	226.6	8.3	222.7	2.7	102
4.14	122.38	122.28	1.00	0.04901	0.00183	0.23763	0.00757	0.03516	0.00037	148.4	85.2	216.5	6.2	222.8	2.3	97
4.15	100.84	77.48	1.30	0.05023	0.00217	0.24439	0.00939	0.03528	0.00042	205.4	97.5	222	7.7	223.5	2.6	99
4.16	79.97	69.55	1.15	0.05006	0.00369	0.23864	0.01675	0.03457	0.0006	197.9	162.7	217.3	13.7	219.1	3.7	99
4.17	148.45	202.39	0.73	0.05452	0.00185	0.26495	0.00736	0.03524	0.00038	392.4	73.6	238.6	5.9	223.3	2.4	107
4.18	216.91	262.88	0.83	0.05167	0.00139	0.25116	0.00479	0.03525	0.00033	270.7	60.4	227.5	3.9	223.3	2.1	102
4.19	203.12	248.97	0.82	0.05003	0.00169	0.24272	0.00672	0.03518	0.00037	196.4	76.6	220.6	5.5	222.9	2.3	99
4.20	434.09	232.43	1.87	0.04694	0.00183	0.22856	0.00773	0.03531	0.00039	45.8	91.0	209	6.4	223.7	2.44	93
4.21	204.25	147.79	1.38	0.05014	0.00219	0.24290	0.00945	0.03513	0.00042	201.3	98.5	220.8	7.7	222.6	2.64	99
4.22	77.66	82.92	0.94	0.05144	0.00389	0.24985	0.01797	0.03522	0.00066	260.5	164.8	226.5	14.6	223.2	4.12	102
4.23	141.32	257.02	0.55	0.05235	0.00175	0.25288	0.00693	0.03503	0.00037	300.7	74.5	228.9	5.6	221.9	2.31	103
4.24	112.66	127.48	0.88	0.05031	0.00204	0.24513	0.00867	0.03533	0.00042	209.4	91.3	222.6	7.1	223.8	2.6	100

样品进行了 24 颗锆石的分析, ^{238}U 含量为 $(69.55\sim 736.49) \times 10^{-6}$, ^{232}Th 含量为 $(71.38\sim 602.29) \times 10^{-6}$, $^{232}\text{Th}/^{238}\text{U} = 0.55\sim 2.07$ 。24 个数据 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄介于 218.5~225.7 Ma, 所有年龄均位于谐和线上, 24 个数据加权平均年龄为 222.0 ± 1.0 Ma ($n = 24$, $\text{MSWD} = 0.53$) (图 3), 表明新冲斑状粗粒正长花岗岩的结晶时代为晚三叠世[9], 而不是前人划分的晚侏罗世, 也不同于胡坊岩体的志留纪[1], 这是首次在胡坊复式岩体中确定三叠纪侵入岩的存在, 为区域岩浆演化提供了重要新资料。

5. 找矿意义

在新冲正长花岗岩中已有离子吸附性稀土矿床在开采, 为了了解未风化的新冲正长花岗岩稀土元素的含量, 在新冲离子吸附型稀土矿区采集了 3 件新鲜岩石样品进行了稀土元素 ICP-MS 分析, 结果如表 2, 显示稀土元素总量较高 $(410.67\sim 485.73) \times 10^{-6}$, 富集轻稀土元素 $\text{LREE}/\text{HREE} = 18.86\sim 24.52$, δEu 呈中度亏损, 稀土配分模式呈右倾型(图 4), 轻稀土元素 La、Ce 富集, La 元素含量变化于 $(100.5\sim 122.5) \times 10^{-6}$,

Table 2. Analysis results of rare element (Unit 10^{-6})
表 2. 稀土元素分析结果(单位 10^{-6})

样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
504-1	100.5	185.5	19.20	64.6	10.60	1.50	8.09	1.29	7.65	1.51	4.66
504-2	122.5	226.0	23.5	73.7	11.40	1.37	8.23	1.24	7.08	1.53	4.17
504-3	116.5	214	21.9	69.4	10.55	1.39	7.26	1.14	7.20	1.44	3.73
样号	Tm	Yb	Lu	Σ REE	LREE	HREE	LREE/HREE				
504-1	0.66	4.30	0.61	410.67	389.99	20.68	18.86				
504-2	0.60	3.83	0.58	485.73	466.7	19.03	24.52				
504-3	0.55	3.51	0.51	459.08	441	18.08	24.39				

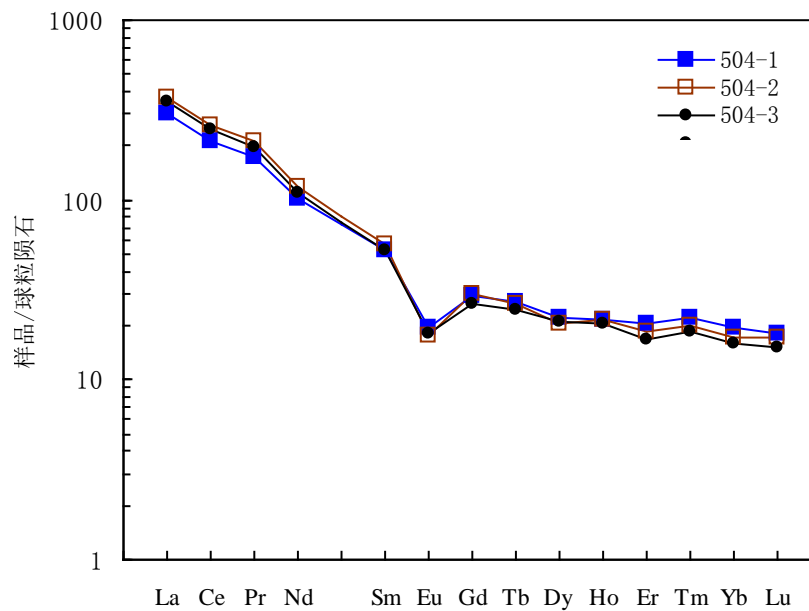


Figure 4. Chondrite normalized REE patterns diagrams
图 4. 稀土元素球粒陨石标准化模式图

Ce 元素含量变化于 $(185.5\sim 226.0)\times 10^{-6}$, 表明新冲正常花岗岩原岩的稀土元素含量较高, 在风化过程中轻稀土元素富集, 具备形成离子吸附性稀土矿床的成矿条件。

闽西南地区发现了大量的离子吸附性稀土矿床[10]-[16], 其花岗岩时代从志留纪 - 白垩纪均有。三叠纪新冲斑状粗粒正长花岗岩的稀土元素含量较高, 在有利的部位常常形成较厚的风化层, 使轻稀土元素富集而形成离子吸附性稀土矿床。前人对连城文坊稀土矿中的花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年, 确定岩浆侵位时代为志留纪[10], 表明闽西南地区离子吸附型稀土矿床不仅分布于志留纪花岗岩中, 也分布于三叠纪花岗岩中。因此, 三叠纪新冲正长花岗岩具有寻找离子吸附型稀土矿的良好找矿前景, 这对闽西南地区找矿提供了重要新资料。

6. 结论

1) 胡坊复式花岗岩中新冲正长花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年, 获得 $^{206}\text{U}/^{236}\text{Pb}$ 加权平均年龄为 $222.0 \pm 1.0 \text{ Ma}$ ($n = 24$, $\text{MSWD} = 0.53$), 表明新冲正长花岗岩侵位时代为晚三叠世, 是印支运动晚期岩浆活动的产物, 结合前人的同位素测年结果得出胡坊复式花岗岩为志留纪和三叠纪岩浆活动的产物的结

论。

2) 对新冲正长花岗岩稀土元素分析, 显示新冲正长花岗岩稀土总量较高, 富集轻稀土元素 La、Ce, 具备离子吸附型稀土矿床的成矿地质条件, 具有良好的找矿前景。

致 谢

感谢匿名审稿人提出的宝贵意见, 在 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年中得到了西安地调中心微区实验室的大力支持, 在此表示衷心感谢。

基金项目

福建省自然科学基金项目“福建西部早古生代地层层序的碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 测年的约束”(2014J01157)和“闽西南寒武纪中低温热水沉积作用与成矿效应研究: 以李坊特大型重晶石矿床为例”(2017J01467)。

参考文献 (References)

- [1] 蒋婷. 闽西南地区玮埔、胡坊、桂头和古田岩体花岗岩年代学和地球化学[D]: [硕士学位论文]. 北京: 中国地质大学(北京), 2014.
- [2] 福建省地质矿产局. 福建省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1984: 70-120.
- [3] 福建省地质矿产局. 福建省地质图说明书[M]. 福州: 福建省地图出版社, 1998: 20-35.
- [4] 福建省地质矿产局. 福建省岩石地层[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997: 7-115.
- [5] Yuan, H.L., Gao, S., Liu, X.M., *et al.* (2004) Accurate U-Pb Age and Trace Element Determinations of Zircon by Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Geostandards and Geo-analytical Research*, **11**, 357-370.
- [6] 吴元宝, 郑永飞. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约[J]. 科学通报, 2004, 16(49): 1589-1604.
- [7] Williams, I.S. and Claesson, S. (1987) Isotope Evidence for the Precambrian Province and Caledonian Metamorphism of High Grade Paragneiss from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II. Ion Microprobe Zircon U-Th-Pb. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **97**, 205-217.
- [8] Williams, I.S. and Buick, C.I. (1996) An Extended Episode of Early Mesoproterozoic Metamorphic Fluid Flow in the Reynolds Range, Central Australia. *Journal of Metamorphic Geology*, **14**, 29-47.
- [9] 樊隽轩, 彭善池, 侯旭东, 等. 国际地层委员会官网与《国际地层表》(2015/01 版) [J]. 地层学杂志, 2015, 39(2): 125-134.
- [10] 黄新鹏. 闽西南含稀土矿文坊岩体的锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 桂林理工大学学报, 2016, 36(1): 113-117.
- [11] 廖小龙. 福建明溪后洋稀土矿地质特征及成矿规律分析[J]. 能源与环境, 2015(1): 110-112.
- [12] 黄新鹏. 闽西南含稀土矿文坊岩体的锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 桂林理工大学学报, 2016, 36(1): 113-117.
- [13] 张熙, 丘文, 王文亮. 福建龙岩万安稀土矿床地质特征与成因探讨[J]. 福建地质, 2014, 33(3): 185-191.
- [14] 钟波. 福建漳平永福矿区稀土矿成矿地质特征[J]. 福建地质, 2015, 34(2): 135-141.
- [15] 吴泽有. 福建上杭洋坡离子吸附型稀土矿地质特征[J]. 福建地质, 2015, 34(3): 199-208.
- [16] 黄敏. 略论福建省稀土成矿条件和成矿规律[J]. 能源与环境, 2014(1): 93-94.

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