



江西新余铁矿花岗岩体和赋矿围岩锆石 U-Pb 定年

张建岭^{1,2}, 许德如¹, 于亮亮^{1,2}, 侯茂洲¹

(1. 中国科学院 广州地球化学研究所, 矿物学与成矿学重点实验室, 广州 510640;

2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 江西新余铁矿位于钦杭成矿带南侧, 为探讨其变形变质时代, 针对矿区花岗岩体和赋矿围岩开展了锆石 U-Pb 定年工作。锆石的透反射图像、CL 图像和稀土元素特征及其 $(\text{Sm}/\text{La})_{\text{N}}-\text{La}$ 和 $\text{Ce}/\text{Ce}^{*}-(\text{Sm}/\text{La})_{\text{N}}$ 判别图表明山庄岩体的锆石为岩浆锆石, 赋矿围岩中的锆石为变质锆石; 锆石 U-Pb 定年结果表明山庄岩体的侵入时代为 420~419 Ma, 矿区地层的变质时代为 214~213 Ma。它们和赋矿围岩的岩相观察及岩体与矿区地层的穿插关系共同表明新余铁矿经历了加里东中晚期(>420~419 Ma)的区域变质作用和印支晚期有热液参与的变质作用。

关键词: 新余铁矿; 锆石 U-Pb 定年; 变质作用; 加里东期; 印支期

文章编号: 1004-0609(2018)-05-0971-14

中图分类号: P618

文献标志码: A

江西新余铁矿位于钦杭成矿带南侧, 是江西省重要的铁矿床, 矿石储量约 7 亿 t, 是沉积于新元古代, 在遭受期后的构造变质作用而形成的铁矿床^[1]。在区域构造上, 新余铁矿位于华南板块, 华南板块在新元古代以后经历了加里东期、印支期等多期次的构造运动。根据构造运动阶段特征, 加里东运动分为造山早期、造山中期或变质峰期和造山晚期 3 个阶段^[2]。在造山运动中期, 华南板块武夷-云开造山带发育了大量变质岩, 变质程度高达麻粒岩相; 在运动晚期, 发育了大量的 S 型和 I 型花岗岩^[2-6]。印支运动分为碰撞期、转换期和伸展期 3 个阶段, 各阶段不仅发育了大量的岩体, 而且形成了一定数量的变质岩; 岩体类型主要为 S 型花岗岩^[7-8], 部分为 A 型花岗岩^[9]、安山岩^[10]和辉绿岩^[11]; 变质岩主要为基底变质岩^[12], 部分为岩体变质岩^[13-14]。关于新余铁矿, 前人作了较多的研究, 取得了不少成果, 但基本集中于 20 世纪 80~90 年代, 近年来有少量成果陆续见刊: 曾书明等^[1,6]研究了新余铁矿, 定性确定了其沉积时代; 陈正乐等^[15]研究了新余铁矿的褶皱变形, 讨论了其成因动力学机制; 李志红等^[16-17]分析研究了新余铁矿硅铁建造的主微量和硅铁氧硫同位素等地球化学特征, 讨论了新余铁矿的矿床成因与类型。关于矿区岩体, 近年来有不少研究成果。楼法生等^[18]研究了新余铁矿西南复式岩

体, 报道了山庄花岗岩体的形成时代; 李洁等^[19]研究了矿区东南雅山岩体, 讨论了其演化特征和形成时代; 罗志高等^[20,8]研究了新余铁矿区东南金滩复式岩体, 讨论了其分期、成因和形成时代等内容。但是, 关于新余铁矿变形变质时代的研究, 前人基本上是根据地层对比和构造穿插关系作出的定性描述, 没有确切数据支持, 不能有效解决新余铁矿的变形变质时代问题, 为进一步找矿服务。因此, 本文作者在上述研究成果的基础上, 通过采集矿区岩体和赋矿围岩样品, 利用成熟且精确的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年技术, 结合岩相观察, 解决新余铁矿变形变质时代无精确定年的问题, 并为华南板块的变形变质演化提供证据。

1 区域地质

新余铁矿位于华夏地块和扬子地块碰撞缝合带, 即钦杭成矿带南侧的华南加里东褶皱带中段, 武功山-北武夷复背斜西段^[1]。

区内主要有蓟县纪神山群、青白口纪库里组、上施组、南华纪杨家桥群古家组、下坊组、大江边组、震旦系乐昌峡群、寒武系八村群牛角河组等地层^[1](见图 1), 它们为连续沉积。其中古家组发育差, 地层不

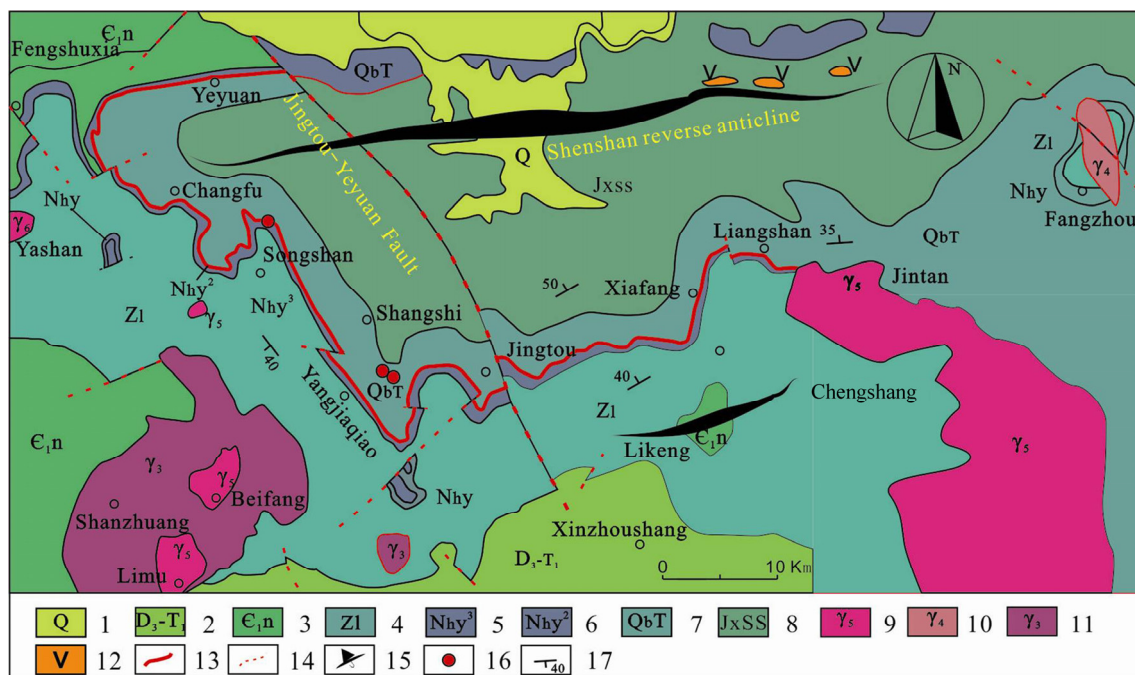


图1 新余铁矿区域地质图^[1]: 1—第四系冲积层; 2—上泥盆-下三叠统碎屑岩; 3—牛角河组碎屑岩; 4—乐昌峡群碎屑岩; 5—大江边组凝灰质浅变质岩; 6—下坊组含铁矿层浅变质岩; 7—潭头群火山-碎屑岩; 8—神山群含碳浅变质岩; 9—印支期花岗岩; 10—海西期花岗岩; 11—加里东期花岗岩; 12—超基-基性岩体; 13—铁矿层; 14—断层; 15—褶皱; 16—采样点; 17—产状

Fig. 1 Regional geological map of Xinyu iron ore^[1]: 1—Quaternary pluvial deposit; 2—Upper devonian-lower Triassic clastic rock; 3—Cambrian niujiahe formation clastic rock; 4—Sinian lechangxia group clastic rock; 5—Nanhua dajiangbian group taffaceous epimetamorphic rock; 6—Nanhua xiafang formation epimetamorphic rock with iron ore; 7—Qingbaikou tantou group volcanic rock; 8—Jixian shenshan group epimetamorphic rock with carbon; 9—Indosinian granitoids; 10—Hercynian granitoids; 11—Caledonian granitoids; 12—Ultrabasic-basic rock; 13—Iron ore; 14—Fault; 15—fold; 16—Sampling point; 17—Attitude

连续; 下坊组是新余铁矿的赋矿层位, 发育较好, 延伸深远。这些地层组成了神山复式倒转背斜的核部和南翼。上述地层在沉积之后, 经历了南华纪以来的各期次构造运动和变形变质作用, 形成了变质相为绿片岩相-低角闪岩相的中浅变质岩。新余铁矿区内的岩浆作用较发育, 矿区西南部发育了一个加里东期花岗岩体^[18]和一个燕山中期岩体^[19], 东南部发育了一个印支期花岗岩体^[20, 8]; 松山南发育有一个极小的印支期岩枝, 无确切地质年代。加里东期的山庄岗岩体侵入到震旦系、寒武系变质地层中, 并被上泥盆统沉积岩层覆盖, 而后又被印支期岩体侵入(见图1), 岩体有轻微蚀变, 但无明显变质痕迹。

矿区的构造主要有北部的神山复式倒转背斜、南部里坑倒转向斜及井头-冶源断裂。其中神山倒转背斜是矿区的控矿构造, 呈NEE-SWW向延展, 向南倒转, 倾向NNW, 倾角20°~45°。井头-冶源断裂呈NW-SE向延伸, 切割矿区, 把矿区地层分为断层以

东的倒转地层, 断层以西的正常地层^[1]。

铁矿体, 产于下坊组地层中, 其产状变化受地层控制; 在井头-冶源断裂界线以东倾向315°~345°, 倾角20°~45°; 在界线以西倾向南西, 倾角20°~70°, 在褶皱强烈处, 矿体呈红绸舞式。

2 样品描述

矿区样品分别采集于矿区的山庄花岗岩体和松山矿段赋矿围岩, 二者具体特征如下。

1) 岩体样品(szx03、sxz05): 采集于山庄岩体的北部, 新鲜均一, 没有遭受到后期的变质作用。经岩相鉴定, 岩性为二长花岗岩, 中粒等粒结构、局部见斑状结构, 块状构造。主要矿物为斜长石(35%~30%)、石英(28%~25%)、钾长石(25%~20%)、白云母(8%~6%)、黑云母(2%~1%); 副矿物主要为锆

石、石榴子石、绿帘石、磁铁矿等; 岩石中可见轻微的蚀变现象, 蚀变产物为绿泥石、粘土。在岩体南部可见闪长岩包体^[21]。

赋矿围岩样品: 分别采集于松山矿段的露采区和坑口, 均为矿层底板样品。经鉴定, 二者岩性分别为磁铁绿泥千枚岩(jx1501)和碳酸盐化黑云石英角闪片岩(jx1502)。磁铁绿泥千枚岩: 细粒变晶结构, 主要矿物为石英(50%~45%)、绿泥石(35%)、磁铁矿(20%~15%), 副矿物为方解石、黄铁矿、磁黄铁矿等。碳酸盐化黑云石英角闪片岩: 条带状构造, 带宽 20~1 mm, 细粒变晶结构, 主要矿物为角闪石(75%~70%)、石英(10%)、方解石(10%)、磁铁矿(5%~3%)、黑云母(2%), 副矿物为磁铁矿、锆石、绿泥石等。

结合新余铁矿区的构造演化和其他地质薄片鉴定结果, 赋矿围岩的矿物生成可以分为以下两个期次:

1) 区域变质期: 该期次生成的矿物奠定了新余铁矿的矿物基础, 矿物的主要特点表现为脉石矿物和金属矿物分别呈条带状并交替分布; 脉石条带内的矿物以云母、绿泥石和角闪石等片柱状矿物为主, 晶形较好, 长轴平行于条带, 呈定向分布; 金属条带内的磁铁矿、赤铁矿等粒状金属矿物定向差, 其他脉石矿物定向较好。此阶段共生的矿物有磁铁矿与赤铁矿, 石英、黑云母与石榴子石, 磁铁矿与黄铁矿, 石英、白云母与绿泥石, 石英、方解石、磁铁矿与绿泥石, 石英、磁铁矿与角闪石, 石英、磁铁矿、石榴子石与绿泥石, 石英、黑云母与白云母等。

2) 热液期: 该期次形成的矿物在特征上明显不同于上期矿物; 主要表现在矿物呈脉状产出, 晶形差, 沿岩层裂隙分布, 多斜切磁铁矿英岩条带, 并无明显定向或定向差。此阶段共生的矿物主要有绿泥石与磁铁矿, 角闪石, 黄铁矿与石英, 石英与方解石和绿泥石等。

3 分析方法

本次实验选取了新鲜的山庄花岗岩岩体样品和赋矿围岩两样品, 用地质锤破碎至粒径为 0.18~0.25 mm, 利用重力淘取其中所含的锆石, 然后在双目镜下挑选晶形完好的锆石颗粒, 将上述锆石颗粒制成锆石靶, 对其进行透反射照相和阴极发光照相, 结合这些图像选择最佳锆石以进行 U-Pb 定年分析。

锆石样品测试工作是在中国科学院广州地球化学研究所中国科学院矿物学与成矿学重点实验室完成。锆石的测定采用了美国 Resoneiics 公司生产的

Resolution M-50 激光剥蚀系统和 Agilent 7500a 型的 ICP-MS 联机, 激光所用斑束为 31 μm , 频率为 8Hz, 以 He 为载气。测试采用美国国家标准技术研究院人工合成硅酸盐玻璃标准作参考物质 SRM610 进行仪器最佳化。本次实验采用标准锆石 TEMORA(417Ma) 作为测年外标, 详细实验步骤见袁洪林等^[22]。数据处理采用 ICPMSDataCal8.6 软件, 锆石年龄图采用 Isoplot3.0 软件, 单个数据点的误差为 1σ , 加权平均年龄为 2σ , 具有 95% 的可信度。

本次实验所采样品的锆石中含有少量磷灰石等包体, 部分锆石可能受到后期热液的影响而发生铅丢失, 致部分数据点谐和度较低。因此, 在分析过程中, 将谐和度低于 90% 的点予以剔除^[23]; 其中年龄 $< 1 \text{ Ga}$ 的点选用 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄, 年龄 $> 1 \text{ Ga}$ 的点则选用 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄^[24]。

4 测试结果

4.1 锆石形态及阴极发光(CL)特征

锆石形态在一定程度上能够反映锆石的成因。CL 图像不仅能够分辨锆石内部结构和构造, 还在一定程度上反映了内部微量元素的变化^[25-26]; 锆石的组构特征是分析点和锆石 U-Pb 年龄解释的重要依据^[27]。

根据锆石形态、透反射图像, 两山庄岩体样品的锆石均为无色至微黄色透明自形的柱粒状颗粒, 大小为 $150\sim 50 \mu\text{m} \times 100\sim 30 \mu\text{m}$, 见少量磷灰石包体; 根据 CL 图像特征(见图 2(a)), 岩体样品的锆石发育有清晰的振荡环带, 部分颗粒周边有不等厚黑色边, 具有岩浆锆石的典型特征^[28-30]。根据锆石形态、透反射图像和 CL 图像的综合特征(见图 2(b)), 赋矿围岩两样品锆石整体为透明自形-半自形颗粒, 次圆状-次棱角状, CL 图像显示锆石内部结构多为流动分带结构, 个别为冷杉状结构(jx1502.8)和海绵结构(jx1501.13), 两结构内部均一, 具有变质锆石的特征。

4.2 锆石微量元素地球化学

锆石微量元素如同锆石内部组构, 也是判定锆石成因的重要依据^[25]。测试结果见表 1。岩体样品 szx03 和 szx05 的 Th、U 值变化较大, 分别为 $395 \times 10^{-6} \sim 76.9 \times 10^{-6}$ 、 $1303 \times 10^{-6} \sim 264 \times 10^{-6}$ 和 $331 \times 10^{-6} \sim 58.0 \times 10^{-6} \times 10^{-6}$ 、 $1592 \times 10^{-6} \sim 192 \times 10^{-6}$, Th/U 值分别为 0.74~0.16(均值为 0.38)和 0.68~0.10(均值为 0.33), 这些中高比值为岩浆锆石的特征^[28-30]。球粒陨石标准化图解(见图 3(a1))显示两样品锆石具有明显的正 Ce

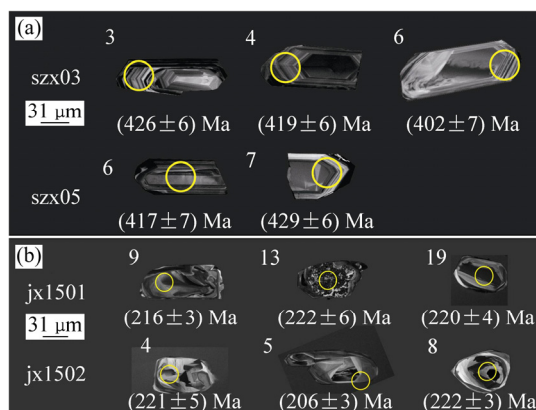


图2 新余铁矿花岗岩体和赋矿围岩的锆石阴极发光(CL)图像

Fig. 2 CL images of analyzed zircons of granite and host rock from Xinyu iron ore area: (a) Magmatic zircon of granite szx03 and szx05, granite; (b) Metamorphic zircon of host rock jx1501 and jx1502, host rock

和负 Eu 异常,个别点异常不明显。两样品 szx03、szx05 的 Ce 值和 Eu 值分别为 207~5.35 (均值为 42.9)、102~5.81 (均值为 44.2) 和 0.14~0.02 (均值为 0.04)、0.08~0.02 (均值为 0.20); 它们接近或等于岩浆锆石 Ce 值(49~32)^[25]和 Eu 值(<1)^[32]。

在 $(\text{Sm}/\text{La})_N$ -La 图解(见图 3(a2))中, 岩体样品 szx03 和 szx05 数据点主体落在岩浆锆石范围内, 少数落在岩浆锆石和热液锆石的过渡区, 反映少数点可能受到热液氧逸度的影响。在 Ce/Ce^* -($\text{Sm}/\text{La})_N$ 图解(见图 3(a3))中, 岩体样品 szx03 和 szx05 数据点主体落在岩浆锆石范围内或附近, 个别偏向热液锆石, Ce 正异常的偏低可能是岩浆热液氧逸度下降造成的^[25, 32]。

赋矿围岩样品 jx1501 的 Th、U 值变化较大, 为 $2786 \times 10^{-6} \sim 4.77 \times 10^{-6}$ 、 $1353 \times 10^{-6} \sim 205 \times 10^{-6}$; 样品 jx1502 的 Th、U 值集中, 为 $4818 \times 10^{-6} \sim 6.89 \times 10^{-6}$ 、 $1112 \times 10^{-6} \sim 419 \times 10^{-6}$, 峰值为 $37.6 \times 10^{-6} \sim 21.0 \times 10^{-6}$ 、 $871 \times 10^{-6} \sim 419 \times 10^{-6}$ 。两样品 jx1501 和 jx1502 的 Th/U

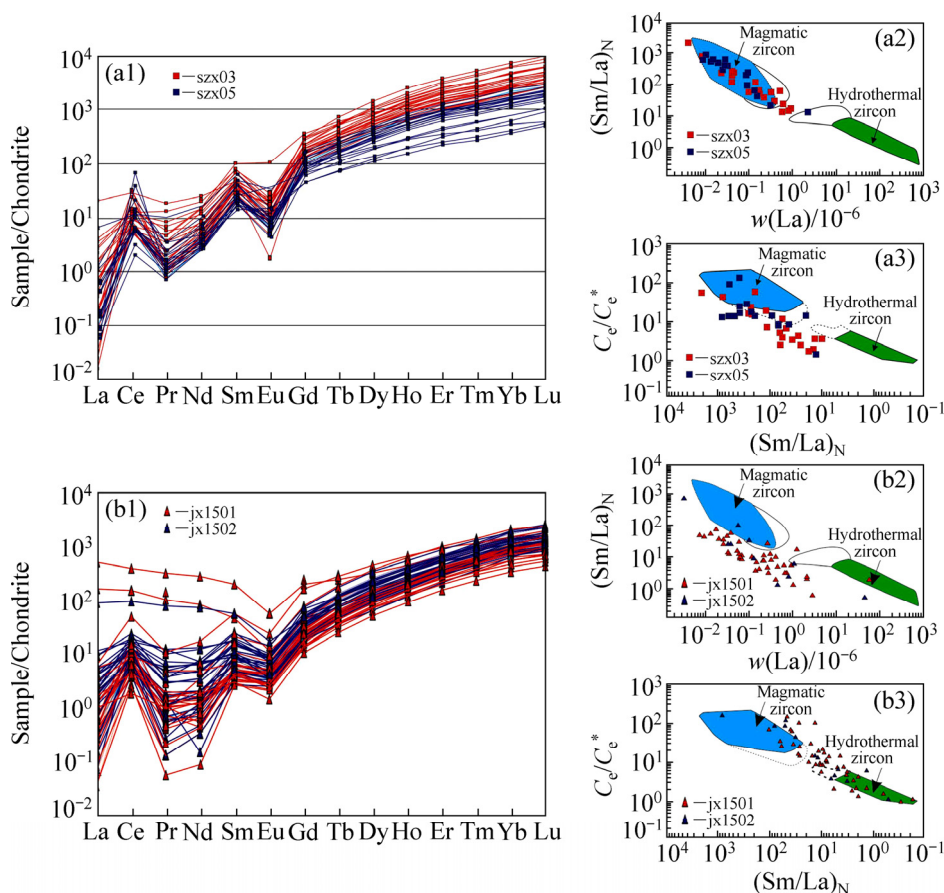


图3 新余铁矿花岗岩体(a)和赋矿围岩(b)的锆石稀土元素图解^[25, 31]

Fig. 3 Rare earth element diagrams of zircons of granite (a) and host rock(b) from Xinyu iron ore area^[25, 31]: (a1) Chondrite standardized diagram of granite szx03 and szx05; (a2) $(\text{Sm}/\text{La})_N$ vs La diagram of granite szx03 and szx05; (a3) Ce/Ce^* vs $(\text{Sm}/\text{La})_N$ diagram of granite szx03 and szx05; (b1) Chondrite standardized diagram of host rock jx1501 and jx1502; (b2) $(\text{Sm}/\text{La})_N$ vs La diagram of host rock jx1501 and jx1502; (b3) Ce/Ce^* vs $(\text{Sm}/\text{La})_N$ diagram of host rock jx1501 and jx1502

表 1 新余铁矿花岗岩体和赋矿围岩锆石稀土元素含量

Table 1 REE concentrations of zircon of granite and host rock from Xinyu iron ore area (unit: 10^{-6}): (a) Granite szx03 and szx05; (b) Host rock jxl501 and jxl502

Point a	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
szx03.01	0.10	5.44	0.13	1.7	3.73	0.40	27.0	10.4	143	57.0	280	57.8	559	107
szx03.02	4.93	17.9	1.76	11.7	7.09	0.67	39.0	13.5	168	65.4	307	62.0	592	112
szx03.03	0.04	4.00	0.07	1.46	3.04	0.28	20.0	6.83	88.3	34.3	164	33.8	333	63.3
szx03.04	0.02	3.73	0.07	1.27	3.43	0.41	20.9	7.76	95.8	37.2	170	35.9	353	66.3
szx03.05	0.53	5.95	0.65	10.0	21.3	8.23	99.4	30.6	301	89.0	351	66.3	612	109
szx03.06	0.01	4.83	0.10	1.73	4.27	0.35	27.6	9.54	121	48.7	231	48.4	474	90.9
szx03.07	0.18	4.71	0.17	2.30	5.60	0.62	37.9	14.3	194	77.5	378	81.7	809	154
szx03.08	0.38	6.27	0.35	3.90	7.13	1.30	46.1	18.9	258	100	486	102	1010	187
szx03.09	0.04	5.08	0.15	2.66	6.91	0.95	38.7	14.1	176	66.7	314	63.2	607	113
szx03.10	0.69	8.96	0.56	3.35	4.59	0.66	31.6	13.1	174	70.3	326	69.0	624	126
szx03.11	0.22	3.69	0.34	3.17	5.41	0.95	31.0	10.5	127	48.0	216	45.5	419	87.9
szx03.12	0.00	4.37	0.11	2.14	5.29	0.46	31.6	10.7	128	50.3	225	46.8	424	88.6
szx03.13	0.98	7.87	1.26	9.44	11.7	1.64	55.0	20.0	240	88.7	398	82.7	752	153
szx03.14	0.04	3.76	0.10	1.64	5.85	0.51	46.4	20.1	272	110	526	114	1063	217
szx03.15	0.14	6.35	0.36	5.88	10.6	1.16	62.2	20.6	247	92.9	412	83.3	739	151
szx03.16	0.17	4.01	0.22	3.26	6.97	0.77	38.5	12.5	150	56.1	247	51.7	458	92.2
szx03.17	0.33	5.85	0.44	7.01	12.2	1.31	59.4	18.7	213	79.7	346	69.9	618	125
szx03.18	0.04	14.5	0.10	2.09	4.95	1.03	33.4	12.2	155	60.2	272	56.0	507	102
szx03.19	0.84	5.92	0.67	5.48	7.83	1.09	43.1	15.9	201	80.4	371	81.4	772	159
szx03.20	0.62	7.37	0.81	6.82	10.2	1.08	62.1	26.4	347	137	604	129	1203	241
szx05.01	0.02	5.45	0.12	2.65	5.70	0.81	33.4	10.6	117	39.2	153	28.2	247	43.2
szx05.02	0.14	4.85	0.16	2.20	5.84	0.55	37.5	15.0	211	84.7	408	90.9	887	168
szx05.03	0.09	9.05	0.28	4.61	10.7	0.80	62.1	21.5	270	101	460	91.2	826	169
szx05.04	0.1	14.0	0.42	7.39	13.8	3.38	74.5	24.4	294	107	470	94.0	849	174
szx05.05	0.01	1.38	0.07	1.49	5.46	0.45	37.2	12.0	127	41.2	185	40.7	396	83.5
szx05.06	2.3	10.8	1.42	12.8	18.8	1.25	82.1	28.4	328	112	494	103	936	191
szx05.07	0.03	4.90	0.28	5.35	11.3	0.87	60.5	19.5	237	87.5	386	78.6	718	149
szx05.08	0.15	5.59	0.15	1.77	4.15	0.70	29.6	11.5	154	63.7	292	62.1	567	115
szx05.09	0.14	5.65	0.21	2.69	5.75	0.76	37.6	13.8	177	70.7	327	67.5	622	127
szx05.10	0.02	2.40	0.10	1.83	5.88	0.46	41.2	15.9	200	78.1	356	75.0	694	141
szx05.11	0.02	5.09	0.08	1.45	4.34	0.30	24.5	8.8	111	44.5	206	42.6	394	82.7
szx05.12	0.03	4.48	0.14	3.14	7.82	0.69	57.4	23.6	312	123	571	123	1155	233
szx05.13	0.28	0.11	0.11	2.11	6.03	0.56	51.2	23.6	337	141	678	146	1416	267
Point b	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
jxl501.01	0.04	9.41	0.01	0.13	0.31	0.10	2.82	1.17	30.3	16.2	103	28.7	344	76.4
jxl501.02	0.04	3.41	0.03	0.23	0.69	0.13	6.27	4.01	69.9	33.0	192	52.5	588	111
jxl501.03	0.03	5.25	0.02	0.16	0.66	0.22	6.79	4.14	77.2	38.7	261	85.9	1172	255
jxl501.04	2.26	14.9	1.24	6.83	3.22	0.39	12.3	6.83	130	64.8	434	139	1861	393
jxl501.05	0.01	2.81	0.03	0.20	0.53	0.10	5.25	3.29	59.4	27.3	160	44.3	511	94.4
jxl501.06	0.03	1.57	0.02	0.25	0.33	0.10	4.37	3.35	60.7	28.2	169	46.2	518	95.3
jxl501.07	0.03	5.16	0.00	0.30	1.04	0.19	9.65	5.77	99.1	46.0	266	71.6	801	145
jxl501.08	0.15	2.56	0.05	0.10	0.38	0.09	3.81	2.63	47.0	22.3	132	34.8	395	71.4
jxl501.09	0.04	6.98	0.05	0.43	1.67	0.37	14.4	8.75	144	64.4	365	95.7	1067	190
jxl501.10	0.22	5.60	0.08	0.57	1.13	0.22	9.65	5.54	95.6	43.6	251	67.8	759	140
jxl501.11	0.12	2.31	0.08	0.54	0.83	0.18	7.19	4.12	71.3	32.4	186	49.9	555	103

(To be continued)

(Continued from Table 1)

jxl501.12	0.03	1.84	0.03	0.07	0.47	0.08	6.53	4.51	78.0	36.7	213	58.1	636	120
jxl501.13	429	831	93.1	385	82.4	5.87	112	26.7	262	89.3	441	112	1330	282
jxl501.14	2.95	12.1	1.24	2.92	1.24	0.20	4.95	3.18	55.9	26.4	159	44.8	513	97.9
jxl501.15	0.34	11.4	0.19	0.96	0.79	0.32	12.6	7.67	136	66.0	418	127	1592	334
jxl501.16	0.84	4.90	0.48	2.58	1.40	0.18	6.36	3.39	58.6	26.8	152	40.9	453	85.3
jxl501.17	0.44	3.00	0.05	0.61	0.56	0.14	5.76	4.00	71.0	33.0	192	53.0	586	110
jxl501.18	0.46	8.93	0.19	0.93	1.51	0.30	11.2	6.84	126	61.1	401	128	1723	378
jxl501.19	0.07	6.29	0.06	0.02	0.41	0.13	4.70	3.08	57.0	28.2	181	57.1	725	157
jxl501.20	0.07	3.33	0.02	0.14	0.55	0.14	5.30	3.74	65.6	30.5	179	48.1	535	99.6
jxl501.21	0.06	6.69	0.05	0.28	0.59	0.16	4.68	2.92	52.5	26.0	167	51.8	668	144
jxl501.22	0.06	14.6	0.04	1.08	3.90	0.93	32.2	19.0	309	132	720	186	1994	362
jxl501.23	0.97	5.45	0.43	2.73	3.65	0.58	19.7	9.96	153	63.6	336	85.7	903	155
jxl501.24	0.32	8.50	0.18	1.10	2.65	0.46	17.8	11.1	183	80.1	445	117	1246	218
jxl501.25	0.07	3.53	0.03	0.29	0.43	0.18	5.12	3.35	62.4	28.9	164	46.4	529	96.9
jxl501.26	102	221	21.6	77.0	11.7	0.71	13.8	5.47	84.0	38.5	220	58.8	682	126
jxl501.27	0.29	3.27	0.07	0.35	0.60	0.18	5.93	3.43	60.8	28.2	167	45.2	512	96.6
jxl501.28	0.28	4.34	0.1	0.55	0.86	0.18	5.67	3.70	63.3	29.6	174	48.2	550	105
jxl501.29	0.18	5.73	0.05	0.38	0.52	0.15	4.50	2.74	48.5	23.8	153	49.0	673	145
jxl501.30	0.07	3.76	0.03	0.19	0.97	0.17	6.27	4.34	73.9	33.6	195	51.9	565	104
jxl501.31	0.11	9.84	0.06	0.42	2.42	0.47	18.9	11.8	196	85.3	476	124	1332	232
jxl501.32	0.14	4.12	0.1	0.39	0.83	0.25	8.22	5.47	89.4	40.7	229	61.2	678	121
jxl501.33	0.07	2.76	0.07	0.25	0.46	0.22	5.21	3.27	58.4	27.6	160	44.0	485	88.4
jxl501.34	0.23	6.70	0.07	0.40	1.77	0.47	13.2	8.30	136	60.3	344	92.0	1141	185
jxl501.35	0.07	4.60	0.01	0.37	0.99	0.24	9.62	5.91	98.1	44.4	255	67.9	757	138
jxl501.36	1.12	9.02	0.73	4.57	2.45	0.28	8.08	4.23	76.1	36.9	238	77.3	1053	228
jxl501.37	0.16	4.05	0.03	0.11	0.72	0.25	8.08	5.34	93.1	41.3	238	63.3	698	128
jxl501.38	0.06	3.94	0.06	0.32	0.56	0.17	7.23	4.42	79.4	35.7	202	54.5	605	108
jxl501.39	1.05	5.54	0.37	1.81	0.93	0.18	7.01	4.08	66.5	31.2	187	51.3	580	108
jxl502.01	0.06	6.51	0.02	0.18	1.30	0.36	12.6	7.44	124	57.1	326	86.7	936	182
jxl502.02	0.02	4.34	0.01	0.23	1.01	0.35	10.5	7.07	121	55.9	320	84.8	886	173
jxl502.03	0.49	5.27	0.08	0.55	0.43	0.10	3.17	2.17	39.8	20.5	137	45.2	589	144
jxl502.04	0.01	3.38	0.00	0.05	0.30	0.08	3.77	2.69	52.3	27.9	188	62.8	818	194
jxl502.05	0.24	5.16	0.05	0.50	1.23	0.25	9.83	6.06	102	46.7	268	71.7	752	146
jxl502.06	1.11	12.6	0.61	2.83	4.74	0.89	29.7	16.5	266	117	652	170	1760	338
jxl502.07	0.70	6.83	0.37	2.82	1.50	0.14	4.37	1.93	29.9	15.6	101	31.4	404	104
jxl502.08	44.9	119	14.8	64.2	15.4	1.16	15.3	5.37	78.7	38.8	252	82.7	1069	251
jxl502.09	0.00	8.20	0.01	0.28	1.80	0.46	16.1	10.0	162	72.8	406	107	1121	221
jxl502.10	0.02	3.29	0.01	0.08	0.56	0.14	5.36	3.73	67.6	31.9	190	52.1	570	118
jxl502.11	0.01	1.75	0.00	0.05	0.26	0.09	4.18	2.74	52.5	25.0	147	40.8	441	90.3
jxl502.12	0.40	4.45	0.18	1.11	1.44	0.20	7.80	5.35	85.9	39.9	232	62.9	656	129
jxl502.13	0.68	8.57	0.32	1.66	2.49	0.54	17.7	10.5	170	75.1	419	113	1163	221
jxl502.14	0.42	11.2	0.25	1.80	2.82	0.55	18.0	10.5	169	75.4	408	107	1077	205
jxl502.15	0.04	10.1	0.02	0.16	0.62	0.18	6.48	3.82	65.9	31.3	186	53.2	605	135

值为 2.06~0.01 和 6.23~0.01, 除 jxl501.13 的 2.06 和 jxl502.08 的 6.23 外, 其他都是低值, 均小于 0.14 和 0.11, 这些低值具有变质锆石的典型特征。锆石稀土的球粒陨石标准化图解(见图 3(b1))表明除少数锆石(jxl501.14, jxl501.29, jxl502.11)的 LREE 富集, 剩

余锆石亏损 Pr 和 Nd 元素; 两样品的 Ce 值和 Eu 值分别为 133~0.97(均值为 20.7)、262~1.13(均值为 63.8)和 0.27~0.08(均值为 0.17)、0.23~0.13(均值为 0.17), 明显不同于岩浆锆石。在 (Sm/La)_N-La 图解和 Ce/Ce*-(Sm/La)_N 图解中(见图 3(b2)和(b3)), 数据点多

数落在岩浆锆石和热液锆石的过渡区域, 少部分落在岩浆锆石或热液锆石区内, 说明原锆石受到了后期热液的改造, 发生了变质作用。

4.3 锆石 U-Pb 年龄

本次实验分别测试了样品 szx03、szx05、jx1501 和 jx1502 的 20、13、39 和 15 个点, 这些点都在谐和线上或附近(见图 4), 表明这些锆石形成后其 U-Pb 体系是封闭的。岩体样品 szx03、szx05 的 U-Pb 年龄范围分别为 433~402 Ma 和 435~394 Ma, 赋矿围岩样品

jx1501 和 jx1502 的 U-Pb 年龄测试结果分别为 232~199 Ma 和 229~196 Ma。根据单个构造事件的短暂性及地质加权年龄计算的范围, 本次实验对上述岩体和赋矿围岩样品的 U-Pb 年龄的测试结果进行了加权平均年龄计算, 得出岩体年龄为 (419 ± 5) Ma (MSWD=0.17) 和 (420 ± 7) Ma (MSWD=0.32) (见图 4(a)), 赋矿围岩年龄为 (214 ± 3) Ma (MSWD=2.0) 和 (213 ± 5) Ma (MSWD=1.7) (见图 4(b)); 这两组年龄(420~419 Ma 和 214~213 Ma)分别代表了山庄岩体的结晶年龄和赋矿围岩的变质时代。

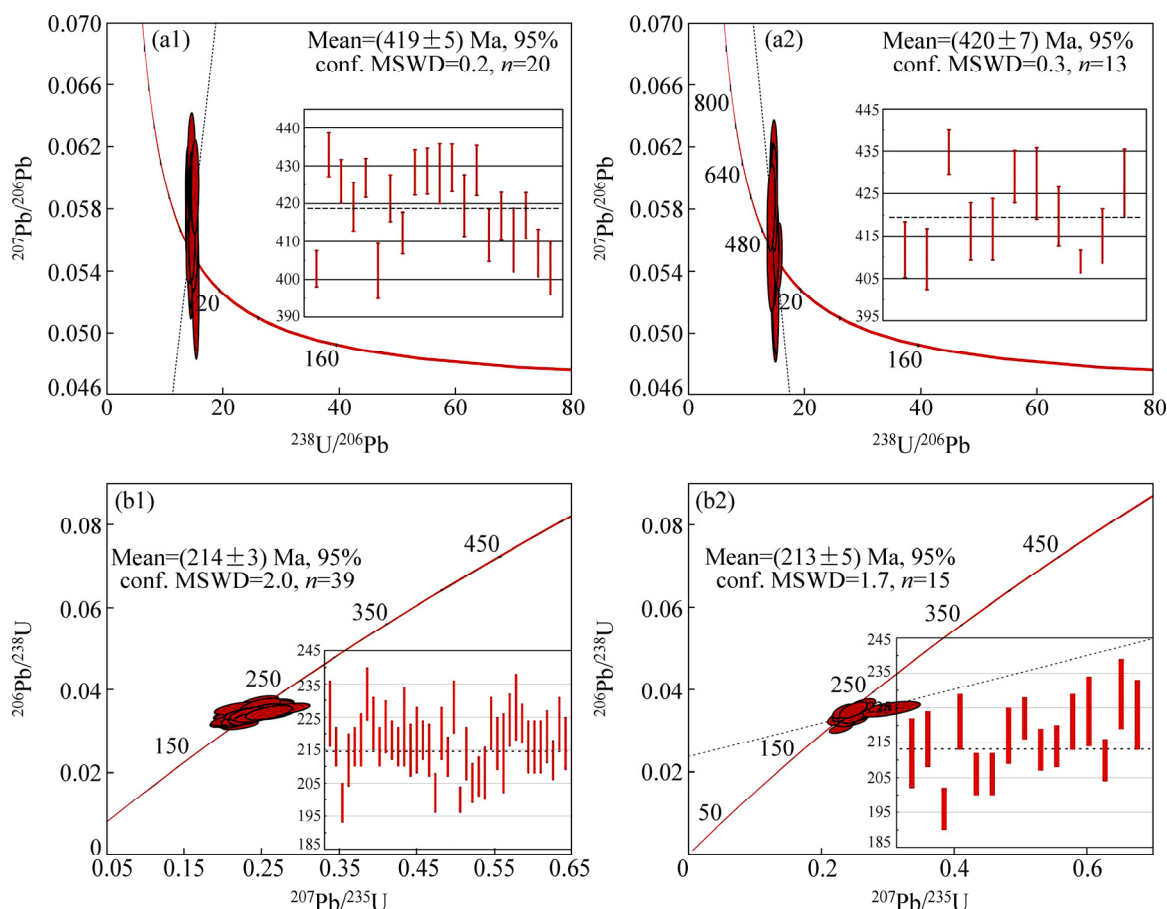


图 4 新余铁矿花岗岩体和赋矿围岩锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 4 U-Pb concordia of granite(a) and host rock(b) from Xinyu iron ore area: (a1) Granite szx03; (a2) Granite szx05; (b1) Host rock jx1501; (b2) Host rock jx1502

5 讨论

5.1 锆石类型

锆石类型的特征不仅体现在锆石的外形形态上, 还体现在锆石内部组构和稀土组成方面^[25-27], 因此, 锆石类型的准确判定要综合考虑形态、内部组构和稀

土组成等因素。

通过对比锆石的 CL 图像、稀土元素及 U-Pb 定年等方面, 发现岩体锆石清晰的振荡环带, 连续集中的年龄和具有明显正 Ce 异常、负 Eu 异常的左倾稀土模式、在 $(\text{Sm}/\text{La})_{\text{N}}-\text{La}$ 和 $\text{Ce}/\text{Ce}^*-(\text{Sm}/\text{La})_{\text{N}}$ 判别图中落在岩浆锆石区附近有极好的一致性, 表明它们是典型的岩浆锆石。赋矿围岩锆石的大部分具有均一的流动分带结构、一致的明显正 Ce 异常、负 Eu 异常的左倾稀

表 2 新余铁矿区花岗岩体(a)和赋矿围岩(b)锆石 U-Pb 年龄测试数据

Table 2 Zircon U-Pb data of granite (a) and host rock (b) from Xinyu iron ore area: (a) Granite szx03 and szx05; (b) Host rock jx1501 and jx1502

Point a	Th	U	Ratio of isotopes								Age/Ma				Harmony degree
			²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	
szx03.01	190	682	0.0568	0.0022	0.5149	0.0189	0.0645	0.0008	483	85	422	13	403	5	95%
szx03.02	191	149	0.0573	0.0022	0.5525	0.0206	0.0695	0.0010	502	83	447	14	433	6	96%
szx03.03	110	267	0.0553	0.0023	0.5235	0.0215	0.0683	0.0010	433	95	427	14	426	6	99%
szx03.04	103	298	0.058	0.0022	0.5427	0.0215	0.0672	0.0011	532	79	440	14	419	6	95%
szx03.05	224	457	0.0565	0.0021	0.5340	0.0194	0.0685	0.0009	472	82	434	13	427	5	98%
szx03.06	129	333	0.0544	0.0028	0.4827	0.0261	0.0644	0.0012	387	119	400	18	402	7	99%
szx03.07	150	879	0.0552	0.0018	0.5211	0.0173	0.0676	0.0010	420	77	426	12	421	6	98%
szx03.08	185	1104	0.0557	0.0018	0.5148	0.0163	0.0660	0.0009	439	70	422	11	412	6	97%
szx03.09	191	445	0.0549	0.0022	0.5301	0.0203	0.0687	0.0010	409	91	432	14	428	6	99%
szx03.10	396	1206	0.0567	0.0008	0.5362	0.0112	0.0687	0.0010	480	27	436	7	429	6	98%
szx03.11	97.9	264	0.0573	0.0013	0.5401	0.0151	0.0686	0.0013	502	48	439	10	428	8	97%
szx03.12	135	301	0.0585	0.0012	0.5542	0.0133	0.0689	0.0010	550	44	448	9	429	6	95%
szx03.13	170	704	0.0608	0.0012	0.5630	0.0163	0.0672	0.0013	632	43	453	11	420	8	92%
szx03.14	157	1010	0.0556	0.0009	0.5257	0.0104	0.0688	0.0011	435	6	429	7	429	7	99%
szx03.15	306	471	0.0574	0.0011	0.5225	0.0127	0.0659	0.0011	509	43	427	8	412	7	96%
szx03.16	159	278	0.0588	0.0014	0.5412	0.0138	0.0668	0.0010	561	50	439	9	147	6	94%
szx03.17	210	283	0.057	0.0019	0.5148	0.0188	0.0657	0.0014	500	74	422	13	410	8	97%
szx03.18	309	493	0.0562	0.0013	0.5163	0.0123	0.0668	0.0010	461	50	423	8	417	6	98%
szx03.19	151	780	0.0593	0.0011	0.5326	0.0118	0.0652	0.0010	576	39	434	8	407	6	93%
szx03.20	263	1303	0.0594	0.0011	0.5286	0.0138	0.0645	0.0011	589	41	431	9	403	7	93%
szx05.01	214	525	0.0519	0.0016	0.4758	0.0187	0.0660	0.0011	280	72	395	13	412	7	95%
szx05.02	149	977	0.0522	0.0025	0.4840	0.0217	0.0656	0.0012	295	139	401	15	410	7	97%
szx05.03	331	758	0.0571	0.0009	0.5488	0.0104	0.0698	0.0009	494	35	444	7	435	5	97%
szx05.04	312	460	0.0551	0.001	0.4777	0.0095	0.0630	0.0009	417	39	396	7	394	5	99%
szx05.05	58.0	570	0.0548	0.0012	0.5032	0.0138	0.0667	0.0011	467	50	414	9	416	7	99%
szx05.06	243	1008	0.0607	0.0012	0.5582	0.0149	0.0668	0.0012	628	44	450	10	417	7	92%
szx05.07	268	527	0.0543	0.0011	0.5135	0.0117	0.0668	0.0010	383	42	421	8	429	6	98%
szx05.08	69.0	192	0.0553	0.0017	0.5211	0.0182	0.0685	0.0014	433	73	426	12	427	8	99%
szx05.09	200	462	0.0591	0.0014	0.5471	0.0157	0.0673	0.0012	569	52	443	10	420	7	94%
szx05.10	131	577	0.056	0.0012	0.5034	0.0131	0.0651	0.0009	454	18	414	9	406	5	98%
szx05.11	150	314	0.0587	0.0015	0.5381	0.0159	0.0665	0.0011	554	56	437	11	415	6	94%
szx05.12	222	1413	0.058	0.001	0.5495	0.0130	0.0686	0.0013	532	32	445	9	428	8	96%
szx05.13	211	1592	0.0496	0.0022	0.4336	0.0228	0.0659	0.0017	176	106	366	16	411	10	88%

Point b	Th	U	Ratio of isotopes								Age/Ma				Harmony degree
			²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	
jx1501.01	4.77	205	0.0500	0.0039	0.2482	0.0180	0.0357	0.0008	195	-18	225	15	226	5	99%
jx1501.02	13.5	669	0.0499	0.0024	0.2384	0.0108	0.0341	0.0005	191	115	217	9	216	3	99%
jx1501.03	93.1	699	0.0509	0.0023	0.2226	0.0095	0.0314	0.0004	235	108	204	8	199	3	97%
jx1501.04	141	1057	0.0512	0.0019	0.2430	0.0099	0.0335	0.0006	250	92	221	8	212	4	96%
jx1501.05	9.76	571	0.0473	0.0021	0.2246	0.0098	0.0341	0.0005	64.9	100	206	8	216	3	94%
jx1501.06	10.1	735	0.0479	0.0018	0.2287	0.0086	0.0344	0.0006	94.5	-106	209	7	218	4	95%

(To be continued)

(Continued from Table 2)

jx1501.07	19.7	581	0.0487	0.0020	0.2471	0.0105	0.0367	0.0007	200	99	224	9	232	4	96%
jx1501.08	6.78	291	0.0473	0.0026	0.2251	0.0118	0.0352	0.0006	64.9	130	206	10	223	4	92%
jx1501.09	30.1	784	0.0482	0.0018	0.2288	0.0092	0.0342	0.0005	109	89	209	8	216	3	96%
jx1501.10	18.5	724	0.0487	0.0020	0.2359	0.0101	0.0350	0.0007	132	99	215	8	222	4	96%
jx1501.11	10.5	624	0.0502	0.0023	0.2421	0.0118	0.0344	0.0005	211	106	220	10	218	3	99%
jx1501.12	11.9	865	0.0480	0.0018	0.2272	0.0094	0.0341	0.0006	98.2	-106	208	8	216	3	96%
jx1501.13	2787	1353	0.0560	0.0025	0.2554	0.0158	0.0350	0.0009	450	98	231	13	222	6	96%
jx1501.14	11.2	758	0.0446	0.0021	0.2136	0.0103	0.0339	0.0006	0	0	197	9	215	4	90%
jx1501.15	121	981	0.0452	0.0018	0.2211	0.0101	0.0345	0.0008	0	0	203	8	218	5	92%
jx1501.16	9.57	456	0.0495	0.0022	0.2402	0.0109	0.0344	0.0006	172	104	219	9	218	3	99%
jx1501.17	14.6	763	0.0454	0.0021	0.2148	0.0099	0.0339	0.0006	0	0	198	8	215	4	91%
jx1501.18	157	1103	0.0457	0.0019	0.2047	0.0083	0.0319	0.0005	0	0	189	7	202	3	93%
jx1501.19	42.8	500	0.0510	0.0029	0.2493	0.0153	0.0347	0.0006	243	130	226	12	220	4	97%
jx1501.20	9.23	389	0.0517	0.0024	0.2398	0.0106	0.0336	0.0005	272	104	218	9	213	3	97%
jx1501.21	38.0	519	0.0489	0.0020	0.2430	0.0101	0.0359	0.0006	143	90	221	8	228	4	97%
jx1501.22	56.3	1099	0.0492	0.0016	0.2129	0.0074	0.0316	0.0004	167	76	196	6	200	2	97%
jx1501.23	49.0	715	0.0529	0.0019	0.2445	0.0109	0.0338	0.0007	328	81	222	9	214	4	96%
jx1501.24	35.2	1048	0.0475	0.0018	0.2062	0.0091	0.0323	0.0005	76	89	190	8	205	3	92%
jx1501.25	9.98	626	0.0484	0.0023	0.2128	0.0117	0.0326	0.0006	120	-86	196	10	207	3	94%
jx1501.26	40.1	772	0.0501	0.0021	0.2250	0.0108	0.0327	0.0006	198	101	206	9	208	4	99%
jx1501.27	12.4	521	0.0485	0.0029	0.2363	0.0142	0.0351	0.0007	120	133	215	12	223	4	96%
jx1501.28	11.9	764	0.0483	0.0022	0.2315	0.0109	0.0342	0.0006	122	-90	211	9	217	4	97%
jx1501.29	48.5	512	0.0512	0.0026	0.2378	0.0123	0.0337	0.0009	250	119	217	10	214	6	98%
jx1501.30	14.9	399	0.0444	0.0023	0.2163	0.0109	0.0353	0.0006	0	0	199	9	224	4	88%
jx1501.31	37.4	971	0.0500	0.0020	0.2490	0.0108	0.0360	0.0008	195	94	226	9	228	5	99%
jx1501.32	17.9	629	0.0524	0.0021	0.2545	0.0100	0.0352	0.0005	306	91	230	8	223	3	96%
jx1501.33	8.51	429	0.0490	0.0023	0.2306	0.0114	0.0340	0.0006	146	111	211	9	216	4	97%
jx1501.34	27.7	688	0.0499	0.0021	0.2337	0.0100	0.0340	0.0007	187	98	213	8	216	4	98%
jx1501.35	19.1	619	0.0566	0.0024	0.2667	0.0115	0.0341	0.0006	476	93	240	9	216	4	89%
jx1501.36	73.2	687	0.0570	0.0025	0.2698	0.0119	0.0345	0.0007	500	96	242	10	219	4	89%
jx1501.37	17.9	594	0.0530	0.0026	0.2439	0.0117	0.0334	0.0005	328	109	222	10	212	3	95%
jx1501.38	14.5	465	0.0572	0.0028	0.2794	0.0136	0.0352	0.0006	502	109	250	11	223	4	88%
jx1501.39	9.94	604	0.0542	0.0025	0.2604	0.0123	0.0343	0.0007	389	73	235	10	217	4	92%
jx1502.01	27.9	814	0.0504	0.0018	0.2315	0.0089	0.0335	0.0008	213	86	211	7	212	5	99%
jx1502.02	23.4	871	0.0544	0.0019	0.2541	0.0090	0.0341	0.0006	387	81	230	7	216	4	93%
jx1502.03	37.4	480	0.0545	0.0017	0.2303	0.0073	0.0308	0.0005	391	69	210	6	196	3	92%
jx1502.04	50.5	471	0.0508	0.0015	0.2439	0.0082	0.0348	0.0007	235	67	222	7	221	4	99%
jx1502.05	23.7	692	0.0548	0.0016	0.2474	0.0090	0.0325	0.0005	406	69	224	7	206	3	91%
jx1502.06	66.9	1112	0.0540	0.0012	0.2416	0.0065	0.0325	0.0005	369	50	220	5	206	3	93%
jx1502.07	21.4	419	0.0559	0.0017	0.2633	0.0094	0.0342	0.0007	456	73	237	8	217	4	91%
jx1502.08	4818	773	0.0533	0.0013	0.2580	0.0076	0.0350	0.0005	339	54	233	6	222	3	95%
jx1502.09	26.0	658	0.0549	0.0014	0.2548	0.0077	0.0336	0.0005	409	57	230	6	213	3	92%
jx1502.10	10.1	656	3.0501	0.0013	0.2336	0.0067	0.0338	0.0005	211	57	213	5	214	3	99%
jx1502.11	6.89	487	0.0489	0.0013	0.2349	0.0071	0.0349	0.0007	143	64	214	6	221	4	96%
jx1502.12	21.0	620	0.0602	0.0029	0.3026	0.0193	0.0354	0.0008	613	108	268	15	224	5	82%
jx1502.13	37.6	854	0.0545	0.0015	0.2484	0.0067	0.0332	0.0005	391	63	225	5	210	3	93%
jx1502.14	44.0	689	0.0524	0.0016	0.2611	0.0089	0.0361	0.0007	306	69	236	7	229	5	97%
jx1502.15	33.9	434	0.0513	0.0015	0.2492	0.0085	0.0352	0.0008	254	67	226	7	223	5	98%

土模式、低 Th/U 值, 在 $(\text{Sm}/\text{La})_N$ -La 和 Ce/Ce^* - $(\text{Sm}/\text{La})_N$ 判别图中落在过渡区内或附近, 有相似的年龄, 表明它们具有典型变质锆石的部分特征; 此外流动分带可能是岩石在发生改造时, 锆石晶体内的不纯物质发生弥漫性迁移的结果, 沉积地层中锆石的冷杉状结构是锆石重结晶的产物^[33]。结合新余铁矿是在南华纪沉积后遭受后期的变质作用改造而成的矿床, 矿床中应该不存在比其沉积时代小的岩浆锆石和碎屑锆石; 具有变质锆石和热液锆石特征的锆石主要为原地层中的锆石在遭受到后期构造作用时, 受到外来热液和温度的共同作用, 内部发生了物质迁移和重结晶, 受热液影响较强处形成了具有海绵结构的锆石, 但总体上是达不到热液锆石的变质锆石。

5.2 锆石地质意义

华夏地块自早古代以来经历了加里东期-喜马拉雅期等不同期次的构造运动和变质作用, 并保留了重要的地质作用痕迹^[34]。但新余铁矿自从南华纪沉积后, 对加里东期-喜马拉雅期的各期次构造作用响应程度具有明显差异, 且保留较多的地质作用痕迹。而新余铁矿区内岩体和赋矿围岩锆石的出现对于新余铁矿乃至华夏地块的构造运动研究有重要意义。现就从矿区内山庄岩体和赋矿围岩中获得的岩浆锆石和变质锆石 U-Pb 年龄数据作出探讨。

5.2.1 加里东期变质作用

加里东构造运动是华南的重要地质作用, 其分布范围广泛, 经历时间长远, 其不仅使华南发育了大量的岩体, 而且使整个华南海域形成了广而厚的区域变质岩^[34]。但区域变质岩是不是全部形成于 460~440 Ma 的变质峰期^[2], 有待进一步研究。

首先, 山庄岩体与新余铁矿区内地层的接触关系表明, 山庄岩体侵入到铁矿区的寒武系及更早时代且沉积连续的变质地层中, 并被上泥盆统沉积岩层所覆盖, 且沉积岩层没有发生明显的变质作用。其次, 山庄岩体地球化学数据的构造环境判别图解和岩相鉴定表明花岗岩体形成构造运动的后碰撞阶段且形成后没有遭受到期后的变质作用。再次, 赋矿围岩锆石挑选结果及其测试分析结果表明赋矿围岩不发育与区域变质时代相对应的变质锆石, 而赋矿围岩的岩相鉴定表明呈定向分布的占主要成分的矿物为区域变质期产物。上述三方面共同表明新余铁矿地层遭受构造运动发生区域变质的时代早于山庄岩体的侵入时代, 且没有再遭受期后的广泛的显著的变质作用。这种变质作用也在华夏板块的其他地方不断被发现证实, 如在慈竹地区片麻状花岗岩中发现了年龄为 421 Ma 的变

质白云母($^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法)^[35]和在武夷山地区片麻岩中发现了年龄为 437~433 Ma 的深熔独居石(U-Th-Pb 法, 或 412 Ma 二次回热法)^[33]; 此外, 加里东构造运动被划分为起始期(>460 Ma)、变质峰期(460~440 Ma)和岩浆期(440~415 Ma) 3 个特征明显的阶段^[2]; 鉴于地质构造运动的不均一性, 即使是在华夏板块的不同地方对地质运动的响应也不是完全一致的。基于上述分析可以得出, 新余铁矿地区发生的变质作用与华南其他地方的变质作用基本同步, 但不固定于 460~440 Ma, 其变质时代应早于 420~419 Ma。

5.2.2 印支期变质作用

印支期运动是华南重要的地质作用, 其分布范围相对广泛, 经历时间久远(>30 Ma)^[12-14, 36]。但其变质作用的性质是局部区域变质^[2], 还是随地壳厚度变化导致岩浆上侵引起的变质作用^[14, 34, 36], 一直存在争议。

首先, 上章节的讨论表明赋矿围岩锆石类型为受热液改造形成的变质锆石; 赋矿围岩两样品锆石 U-Pb 定年测试结果和岩相鉴定的矿物生成期次表明经历了新余铁矿经历印支晚期(年龄为 214~213 Ma)有热液参与的变质作用。其次, 新余铁矿区的岩体分布特征和岩体地球化学特征表明, 矿区西南最大的山庄花岗岩岩体距离赋矿围岩采集地松山矿段较远, 大于 10 km, 且是低温 S 型花岗岩, 其本身的流体作用弱, 流体和温度对松山矿段的岩石影响较小, 不足以使矿区地层发生大范围变质; 雅山岩体为燕山中期岩体, 形成时代滞后于矿区地层印支期变质时代; 而松山南的印支期小岩枝距离矿段较近, 小于 3 km, 形成时代可能与东南部的金滩岩体相近, 能为松山矿段的变质作用提供较多的温度和热液, 促使赋矿围岩中的热液矿物发育和变质锆石的形成。上述两方面表明新余铁矿经历了印支晚期的变质作用。而这种变质作用, 也在华夏板块的其他地方不断地被发现证实。如在粤东北、粤中博罗县、云开等地区的基底变质岩中发现了年龄为 232~221 Ma 的变质锆石(LA 法)、片麻岩中发现了年龄为 231 Ma 的变质锆石(LA 法)、片麻岩中发生了年龄为 236 Ma 的变质锆石(LA 法)^[28-29, 33]和粤西龙塘地区碱性花岗岩中较老的变质锆石(248~244 Ma, SHRMP 法)^[13]时代相似的年龄为 247 Ma 的变质锆石(LA 法)^[12]; 此外, 在华南的八都群、麻源群、周潭群、陈蔡群和云开群等地层也发现了年龄为 248~221 Ma 的变质锆石(LA 法、SHRMP 法)^[14]。结合新余铁矿位于钦杭结合带南缘, 印支期岩浆作用弱于加里东期和燕山期、变质作用弱于加里东期特征^[6], 综合分析得出, 华南海域的印支变质作用不具备局部区域变质的

特征,应该是华南板块与印度和太平洋板块在印支期的碰撞事件导致岩浆上侵引起的变质作用,变质作用多发生在基底岩石和岩体中,变质作用时间为早期变质事件的 260~240 Ma 和晚期变质事件的 230~200 Ma;而新余铁矿则明确地经历了印支晚期的变质作用,是否经历印支早期的碰撞变质作用有待研究。

6 结论

1) 山庄花岗岩体中的锆石类型为岩浆锆石,赋矿围岩中的锆石类型是受热液改造而成的变质锆石。两类岩石锆石的 U-Pb 定年加权平均年龄分别为 420~419 Ma 和 214~213 Ma,分别对应于加里东晚期和印支晚期。

2) 新余铁矿经历了加里东中晚期的区域变质作用,变质作用时代早于山庄岩体侵入时代。

3) 新余铁矿经历了印支晚期有热液参与的变质作用,变质作用与同时期的岩浆侵入有关。

致谢: 二位审稿人及编辑提出的详细意见对本文改进及写作水平的提高都有很大的帮助,在此一并感谢。

REFERENCES

- [1] 曾书明,周建廷,王学平,刘川,董国臣. 江西新余铁矿区铁矿成矿地质特征与成因分析[J]. 地质与勘探, 2011, 47(2): 187-196.
ZENG Shu-ming, ZHOU Jian-ting, WANG Xue-ping, LIU Chuan, DONG Guo-chen. Metallogenic characteristics and analysis of iron ore deposit in the Xinyu iron orefield[J]. Geology and Exploration, 2011, 47(2): 187-196.
- [2] LI Zheng-xiang, LI Xian-hua, WARTHON Jo-anne, CLARK Chris, LI Wu-xian, ZHANG Chuan-lin, BAO Chao-min. Magmatic and metamorphic events during the early Paleozoic Wuyi-Yunkai orogeny, southeastern South China: New age constraints and pressure-temperature conditions[J]. Geological Society of America, 2010, 122(5/6): 772-793.
- [3] 熊松泉,康志强,冯佐海,庞崇进,方贵聪,张青伟,吴佳昌,蒋兴洲. 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, 2016, 35(4): 736-746.
XIONG Song-quan, KANG Zhi-qiang, FENG Zuo-hai, PANG Cong-jin, FANG Gui-cong, ZHANG Qing-wei, WU Jia-chang, JIANG Xing-zhou. Zircon U-Pb age and geochemistry of Dajin granitic pluton in Dayaoshan area[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2016, 35(4): 736-746.
- [4] 叶鸣,张青伟,胡华清,秦亚,杨启军,白令安,康志强,张佳莉,高攀. 广西大瑶山地区大王顶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, 2016, 35(4): 756-765.
YE Ming, ZHANG Qing-wei, HU Hua-qing, QIN Ya, YANG Qi-jun, BAI Ling-an, KANG Zhi-qiang, ZHANG Jia-li, GAO Pan. Chronology and geochemical characteristics of granodiorite porphyry of Dawangding rockmass in Dayaoshan area, Guangxi[J]. Journal of Guilin University of Technology, 2016, 35(4): 756-765.
- [5] 张乔. 福建中部志留纪辉长卷和 I 型花岗岩成因及构造意义[D]. 南京: 南京大学, 2015: 1-44.
ZHANG Qiao. Origin and tectonic implications of Silurian gabbros and I-type granite in central Fujian[D]. Nanjing: Nanjing University, 2015: 1-44.
- [6] WANG Yue-jun, ZHANG Ai-mei, FAN Wei-ming, ZHAO Guo-chun, ZHANG Guo-wei, ZHANG Yu-zhi, ZHANG Fei-zei, LI San-zhong. Kwangsian crustal anatexis within the eastern South China Block: Geochemical, zircon U-Pb geochronological and Hf isotopic fingerprints from the gneissoid granites of Wugong and Wuyi-Yunkai Domains[J]. Lithos, 2011, 127: 239-260.
- [7] 郑佳浩,郭春丽. 湘南王仙岭花岗岩体的锆石 U-Pb 年代学、地球化学、锆石 Hf 同位素特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(1): 75-90.
ZHENG Jia-hao, GUO Chun-li. Geochronology, geochemistry and zircon Hf isotopes of Wangxianling granitic intrusion in Hunan Province and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(1): 75-90.
- [8] 赵葵东,李吉人,凌洪飞,陈培荣,陈卫锋,孙涛. 江西省峡江铀矿床两期印支期花岗岩的年代学、岩石地球化学和岩石成因: 对华南印支期构造背景和产铀花岗岩成因的指示[J]. 岩石学报, 2013, 29(12): 4349-4361.
ZHAO Kui-dong, LI Ji-ren, LING Hong-fei, CHEN Pen-rong, CHEN Wei-feng, SUN Tao. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of two stage Indosinian granites from Xiajiang uranium ore deposit, Jiangxi Province: Implication for Indosinian tectonics and genesis of uranium-bearing granites in South China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2013, 29(12): 4349-4361.
- [9] 田泽瑾,陈振宇,王登红,陈郑辉,黄凡,赵正,侯可军. 赣南桃山复式花岗岩的锆石 U-Pb 年代学及其产铀性探讨[J]. 岩矿测试, 2014, 33(1): 133-141.
TIAN Ze-jin, CHEN Zhen-yu, WANG Deng-hong, CHEN Zheng-hui, HUANG Fan, ZHAO Zheng, HOU Ke-jun. Zircon U-Pb geochronology and uranium-production capacity of the Taoshan complex in Southern Jiangxi[J]. Rock and Mineral Analysis, 2014, 33(1): 133-141.
- [10] 王硕,董国臣,莫萱学,赵志丹,朱弟成,孔会磊,王霞,聂飞. 澜沧江南带三叠纪火山岩岩石学、地球化学特征、

- Ar-Ar 年代学研究及构造意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(4): 1148–1162.
- WANG Shuo, DONG Guo-chen, MUO Xuan-xue, ZHAO Zhi-dan, KONG Hui-lei, WANG Xia, NIE Fei. Petrological and geochemical characteristics, Ar-Ar geochronology study and their significance of Triassic volcanic rocks in southern Lanchangjiang zone[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2012, 28(4): 1148–1162.
- [11] 毛伟, 李晓峰, 杨富初. 广东大宝山多金属矿床花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 2013, 29(12): 4104–4120.
- MAO Wei, LI Xiao-feng, YANG Fu-chu. Zircon LA-ICP-MS U-Pb ages at Dabaoshan polymetallic deposit and its geological significance, Guangdong, South China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(12): 4104–4120.
- [12] 于津海, 王丽娟, 周新民, 蒋少涌, 王汝成, 徐夕生, 邱检生. 粤东北基底变质岩的组成和形成时代[J]. 地球科学, 2006, 1: 38–48.
- YU Jin-hai, WANG Li-juan, ZHOU Xin-min, JIANG Shao-yong, WANG Ru-cheng, XU Xi-sheng, QU Jian-sheng. Compositions and Formation history of basement metamorphic rocks in Northern Guangdong province[J]. *Earth Science*, 2006, 1: 38–48.
- [13] 夏斌, 林清茶, 张玉泉. 广东罗定龙塘碱性花岗岩锆石 SHRIMP 定年及地质意义[J]. 地质科学, 2006, 3: 511–517.
- XIA Bin, LIN Qing-cha, ZHANG Yu-quan. Zircon shrimp dating of the Longtang alkaline granite at Luoding, Guangdong, and its geological implications[J]. *Chinese Journal of Geology (Scientia Geologica Sinica)*, 2006, 3: 511–517.
- [14] WANG Yue-jun, WU Chun-ming, ZHANG Ai-mei, FAN Wei-ming, ZHANG Yan-hua, ZHANG Yu-zhi, PENG Tou-ping, YIN Chang-qin. Kwangsi and Indosinian reworking of the eastern South China Block: Constraints on zircon U-Pb geochronology and metamorphism of amphibolites and granulites[J]. *Lithos*, 2012, 150: 227–242.
- [15] 陈正乐, 张青, 韩凤彬, 陈柏林, 孙岳, 王学平, 潘家永, 沈滔, 伍俊杰. 江西赣中铁矿“红绸带”式铁矿体形成成因及其找矿预测[J]. 大地构造与成矿学, 2016, 4(2): 213–223.
- CHENG Zheng-le, ZHANG Qing, HAN Feng-bin, CHEN Bo-lin, SUN Yue, WANG Xue-ping, PAN Jia-yong, SHEN Tao, WU Jun-jie. Formation mechanics of the “red-ribbon” style iron orebodies in the Xinyu iron deposit, central Jiangxi province and implications on ore-prospectings[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2016, 4(2): 213–223.
- [16] 沈滔, 张政. 江西新余铁矿地质地球化学特征及成矿机制探讨[J]. 江西科学, 2015, 33(4): 546–552.
- SHEN Tao, ZHANG Zheng. Geologic, Geochemistry Characteristics and Ore-forming mechanism of Xinyu iron deposit, Jiangxi Province[J]. *Jiangxi Science*, 2015, 33(4): 546–552.
- [17] 李志红, 朱祥坤, 孙剑. 江西新余铁矿的地球化学特征及其与华北 BIFs 铁矿的对比[J]. 岩石学报, 2014, 30(5): 1279–1291.
- LI Zhi-hong, ZHU Xiang-kun, SUN Jian. Geochemical characters of Banded Iron Formations from Xinyu and North China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2014, 30(5): 1279–1291.
- [18] 楼法生, 沈渭洲, 王德滋, 舒良树, 吴富江, 张芳荣, 于津海. 江西武功山穹隆复式花岗岩的锆石 U-Pb 年代学研究[J]. 地质学报, 2005, 79(5): 636–644.
- LOU Fa-sheng, SHEN Wei-zhou, WANG De-zi, SHU Liang-shu, WU Fu-jiang, ZHANG Fang-rong, YU Jin-hai. Zircon U-Pb isotopic chronology of the Wugongshan dome compound granite in Jiangxi Province[J]. *Acta Geological Sinica*, 2005, 79(5): 636–644.
- [19] 李洁, 黄小龙. 江西雅山花岗岩岩浆演化及其 Ta-Nb 富集机制[J]. 岩石学报, 2013, 29(12): 4311–4322.
- LI Jie, HUANG Xiao-long. Mechanism of Ta-Nb enrichment and magmatic evolution in Yashan granites, Jiangxi Province, South China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2013, 29(12): 4311–4322.
- [20] 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, 2: 282–290.
- LUO Zhi-gao, WANG Yue-jun, ZHANG Fei-fei, ZHANG Ai-mei, ZHANG Yu-zhi. LA-ICPMS zircon U-Pb dating for Baimashan and Jintan Indosinian granitic plutons and its petrogenetic implications[J]. *Geotectonica et Etallogenia*, 2010, 2: 282–290.
- [21] 楼法生, 舒良树, 于津海, 王德滋. 江西武功山穹隆花岗岩岩石地球化学特征与成因[J]. 地质论评, 2002, 48(1): 80–88.
- LOU Fa-sheng, SHU Liang-shu, YU Jin-hai, WANG De-zhi. Petrological and geochemical characteristics and origin of the Wugongshan dome granite, Jiangxi Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 2002, 48(1): 80–88.
- [22] 袁洪林, 吴福元, 高山, 柳小明, 徐平, 孙德有. 东北地区新生代侵入体的锆石激光探针 U-Pb 年龄测定与稀土元素成分分析[J]. 科学通报, 2003, 48(14): 1511–1520.
- YUAN Hong-lin, WU Fu-yuan, GAO Shan, LIU Xiao-ming, XU Ping, SUN De-you. LA-ICP-MS zircon U-Pb age and REE of Cenozoic pluton in NE China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(14): 1511–1520.
- [23] 付王伟, 许德如, 吴传军, 傅杨荣, 周迎春, 周岳强, 王智琳, 林舸. 海南省高通岭钨矿床赋矿岩体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及成矿意义[J]. 矿床地质, 2014, 33(2): 419–427.
- FU Wang-wei, XU De-ru, WU Chuan-jun, FU Yang-rong, ZHOU Ying-chun, ZHOU Yue-qiang, WANG Zhi-lin and LIN Ge. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of syenogranites hosting Gaotongling Mo deposit in Hainan Province: Implications for metallogenesis[J]. *Mineral Deposits*, 2014, 33(2): 419–427.
- [24] GRIFFIN W L, BELOUSOVA E A, SHEE S R, PEARSON N J,

- O'REILLY S Y. Archean crustal evolution in the northern Yilarn Craton: U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons[J]. *Precambrian Research*, 2004, 131: 231–282.
- [25] HOSKIN P W O. Trace-element composition of hydrothermal zircon and the alteration of Hadean zircon from the Jack Hills, Australia[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2005, 69: 637–648.
- [26] FU B, MERNAGH T P, KITA N T, KEMP A I S, VALLEY J W. Distinguishing magmatic zircon from hydrothermal zircon: A case study from the Gidginbung high-sulphidation Au-Ag-(Cu) deposit, SE Australia[J]. *Chemical Geology*, 2009, 259(3/4): 131–142.
- [27] VARA G, GEBAUER D, SCHMID R, COMPSTON W. Multiple zircon growth and recrystallization during polyphase Late Carboniferous to Triassic metamorphism in granulites of the Ivrea Zone (Southern Alps): An ion microprobe (SHRIMP) study[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 1996, 122: 337–358.
- [28] 刘清泉, 邵拥军, 张智慧, 张宇, 李冰, 张驰. 大别山姚冲花岗岩锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素及地质意义[J]. *中国有色金属学报*, 2015, 25(2): 479–492.
- LIU Qing-quan, SHAO Yong-jun, ZHANG Zhi-hui, ZHANG Yu, LI Bing, ZHANG Chi. Zircon U-Pb ages, Hf isotope characteristics and its implication of granite from Yaochong, Dabie orogen, China[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2015, 25(2): 479–492.
- [29] 刘清泉, 张宇, 张智慧, 李冰, 张驰. 豫南姚冲钼矿床二长花岗岩锆石微量元素特征及地质意义[J]. *中国有色金属学报*, 2015, 25(3): 776–785.
- LIU Qing-quan, ZHANG Yu, ZHANG Zhi-hui, LI Bing, ZHANG Chi. Zircon trace element characteristics and its implication of monzogranite in Yaochong Mo deposit, Southern Henan, China[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2015, 25(3): 776–785.
- [30] 郑明泓, 邵拥军, 隗含涛, 熊伊曲, 邹艳红, 谭华杰. 湘东八团岩体的成因: 地球化学、锆石 U-Pb 年代学以及 Hf 同位素的制约[J]. *中国有色金属学报*, 2015, 25(11): 3171–3182.
- ZHENG Ming-hong, SHAO Yong-jun, WEI Han-tao, XIONG Yi-qu, ZOU Yan-hong, TAN Hua-jie. Petrogenesis of Batuan intrusion: Constraints from petro-geochemistry, zircon U-Pb dating and Hf isotope[J]. *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*, 2015, 25(11): 3171–3182.
- [31] SUN S S, MCDONOUGH W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. *Geological Society London Special Publications*, 1989, 42(1): 313–345.
- [32] ZHAO Zhen-hua, BAO Zhi-wei, QIAO Yu-lou. A peculiar composite M- and W-type REE tetrad effect: Evidence from the Shuiquanguo alkaline syenite complex, Hebei Province, China[J]. *Chinese Sci Bull*, 2010, 24: 2684–2696.
- [33] 杨明桂, 黄水保, 楼法生, 唐维新, 毛素斌. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用[J]. *中国地质*, 2009, 36(3): 528–543.
- YANG Ming-gui, HUANG Shui-bao, LOU Fa-sheng, TANG Wei-xin, MAO Su-bin. Lithospheric structure and large-scale metallogenic process in Southeast China continental area[J]. *Geology in China*, 2009, 36(3): 528–543.
- [34] 舒良树, 卢华复, 贾东, 夏菲, 福赫. 华南武夷山早古生代构造事件的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄研究[J]. *南京大学学报 (自然科学版)*, 1999, 35(6): 26–32.
- SHU Liang-shu, LU Hua-fu, JIA Dong, CHARVET Jacques, FAURE Michel. Study of the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic age for the early paleozoic tectonothermal event in the Wuyishan region, South China[J]. *Journal of Nanjing University (Natural Sciences)*, 1999, 35(6): 26–32.
- [35] CHARVET J, SHU LIANG-SHU, FAURE M, CHOLET F, WANG B, LU H F, BRETON NL. Structural development of the lower paleozoic belt of South China: Genesis of an intracontinental orogen[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2010, 39: 309–330.
- [36] 于津海, 王丽娟, 魏震洋, 孙涛, 舒良树. 华夏地块显生宙的变质作用期次和特征[J]. *高校地质学报*, 2007, 13(3): 474–483.
- YU Jin-hai, WANG Li-juan, WEI Zhen-yang, SUN Tao, SHU Liang-shu. Phanerozoic metamorphic episodes and characteristics of Cathaysia block[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2007, 13(3): 474–483.

Zircon U-Pb dating of granite and host rock in Xinyu iron ore area, Jiangxi Province, China

ZHANG Jian-ling^{1,2}, XU De-ru¹, YU Liang-liang^{1,2}, HOU Mao-zhou^{1,2}

(1. Key Laboratory of Mineralogy and Metallogeny, Guangzhou Institute of Geochemistry,

Chinese Academy of Sciences, Guangzhou Guangdong, 510640, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: In order to discuss the deformable and metamorphic age of Xinyu iron ore which is on the southern side of Qinhang metallogenic belt and located in Jiangxi Province, zircon U-Pb dating for the granite and host rock were carried out. Zircons from Shanzhuang granite are interpreted as magmatic zircon and Zircons from host rock as metamorphic zircon by transmission and flection images, CL images, rare earth element and discrimination diagrams of $(\text{Sm}/\text{La})_{\text{N}}-\text{La}$ and $\text{Ce}/\text{Ce}^*-(\text{Sm}/\text{La})_{\text{N}}$ of zircon. Zircon U-Pb dating indicates that the intrusion age of Shanzhuang granite is 420–419 Ma and the metamorphic age of mining area is 214–213 Ma; they and lithofacies observation and the interpenetration relation between granite and stratum show that Xinyu iron ore area experiences middle-late regional metamorphism of Caledonian ($>420-419$ Ma) and late Indosinian metamorphism associated with hydrothermal activity.

Key words: Xinyu iron ore area; zircon U-Pb dating; metamorphism; caledonian; indosinian

Foundation item: Project (41472171) supported by the National Natural Science Foundation of China; Project (2016YFC0600401) supported by the National Key Research and Development Program of China

Received date: 2016-04-21; **Accepted date:** 2018-01-02

Corresponding author: XU De-ru; Tel: +86-20-85292713; E-mail: 854130386@qq.com

(编辑 何学锋)