

浙江绍兴地区广山-栅溪岩体LA-ICP-MS锆石U-Pb定年:对漓渚铁矿成矿时代的限定

顾明光^{1,2}, 冯立新², 胡艳华², 余盛强², 吴 鸣²

GU Ming-guang^{1,2}, FENG Li-xin², HU Yan-hua², YU Sheng-qiang², WU Ming²

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074; 2. 浙江省地质调查院, 浙江 杭州 311203

1. School of Earth Science, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

2. Zhejiang Institute of Geological Survey, Hangzhou 311203, Zhejiang, China

摘要:选取与漓渚铁矿成矿关系密切的栅溪和广山岩体为研究对象,采用高精度的LA-ICP-MS锆石U-Pb定年方法对栅溪岩体黑云母花岗岩和广山岩体花岗岩斑岩代表性样品进行了详细的测年工作,在此结果的基础上,结合区域上矿床成矿的时代,讨论了漓渚铁矿的成矿时代。定年结果显示,栅溪岩体的成岩时代为 $150.1\text{Ma} \pm 2.6\text{Ma}$,而广山岩体经历了多期的岩浆事件,主体成岩时代为 $147.2\text{Ma} \pm 1.7\text{Ma}$,2个岩体均属于燕山早期岩浆活动的产物。矿区地质特征显示,漓渚铁矿的形成与广山-栅溪岩体成岩期岩浆热液作用关系密切,广山-栅溪岩体的成岩时代即代表了漓渚铁矿矿化的时代,漓渚铁矿矿体主要形成于中侏罗世(约150Ma)。漓渚铁矿成矿时代的精确厘定为邻区寻找同类型矿床指明了方向。

关键词:漓渚铁矿;广山岩体;栅溪岩体;江山-绍兴断裂带;LA-ICP-MS锆石U-Pb定年;燕山期

中图分类号:P588.12⁺1; P597⁺.3 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2011)08-1212-08

Gu M G, Feng L X, Hu Y H, Yu S Q, Wu M. LA-ICP-MS U-Pb dating of zircons from Guangshan and Zhaxi plutons in Shaoxing area, Zhejiang Province: constraint on the ore-forming epoch of the Lizhu iron ore deposit. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(8):1212-1219

Abstract: The LA-ICP-MS U-Pb dating of zircons was carried out for two representative rock samples from Guangshan and Zhaxi plutons, which are closely related to mineralization of the Lizhu iron ore deposit. Based on the obtained results and regional chronologic data of mineralization, this paper has dealt with the mineralization age of the Lizhu iron ore deposit. The samples from Zhaxi pluton yielded the age of $150.1 \pm 2.6\text{Ma}$, which is interpreted as its petrogenic age, and the sample from Guangshan pluton shows a number of magmatic events, with the main petrogenic age $147.2 \pm 1.7\text{Ma}$, suggesting that both plutons belong to Yanshanian granitoids. Geological features of the Lizhu iron ore district show that mineralization of the Lizhu iron ore deposit was closely related to the magmatic hydrothermal event of Guangshan and Zhaxi plutons. In other words, the formation age of Guangshan and Zhaxi plutons represents the ore-forming age of the Lizhu iron ore deposit, i.e., Lizhu iron ore bodies were formed in Jurassic (~150Ma). Precise mineralization age of the Lizhu iron ore deposit plays a guiding role in search for the same type of ore deposits in adjacent areas.

Key words: Lizhu iron ore deposit; Guangshan pluton; Zhaxi pluton; Jiangshan-Shaoxing fault belt; LA-ICP-MS U-Pb dating of zircon; Yanshanian period

江山-绍兴拼合带作为华夏-扬子陆块碰撞结合带的北东段,经历了多期复杂的地质构造演

化和成矿作用过程,是划分华南大地构造单元、认识华南大陆形成演化过程与机制、开展华南区

收稿日期:2011-02-23;修订日期:2011-05-19

资助项目:浙江省国土资源厅《江山-绍兴拼合带地质构造研究》项目(编号:[省资]2010001)和中国地质调查局《1:25万衢州市幅区调修测》项目(编号:1212010011604)

作者简介:顾明光(1968-),男,在读博士,高级工程师,从事区域地质调查与研究。E-mail:freebeing@163.com

域地质矿产研究的关键地段。众多学者对江山-绍兴拼合带的碰撞拼合历史及拼合时限进行过论述^[1-4]。

江山-绍兴拼合带往西南经江西、湖南延至广西,是中国南方最重要的成矿区带,近年被命名为“钦杭成矿带”^[5]。此区带汇聚了 20 个特大型矿床和百余处大—中型矿床,现已被正式列入“国家资源保障工程规划”的重点研究区域。浙江省诸暨-绍兴区段处于成矿带的北东端,区内集中了省内最主要的金、铜、铅锌和铁矿床,并分布着大量的大小矿点。位于绍兴漓渚镇附近的漓渚铁矿便产于该拼合带北东段的北西侧,是浙江为数不多的中型铁矿之一。铁矿体主要产于广山复式花岗岩体外接触带之南华系、震旦系、寒武系和奥陶系层间断裂带上,为矽卡岩型磁铁矿^[6]。然而,对于该矿床的成矿年龄,仅在漓渚幅 1:5 万区域地质矿产调查报告中见到有相关的叙述。鉴于当时成矿认识和测试分析手段的限制,此年龄的可信度和精确度仍有待探讨。为此,笔者对该矿床关系密切的栅溪黑云母花岗岩和广山花岗斑岩进行了详细的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年工作,期望对漓渚铁矿的成矿时代进行限定,进而为寻找同类型的矿床提供科学依据。

1 矿区地质概况

漓渚铁矿为一个以铁为主,共生锌、钼,伴生镍的中型贫磁铁矿床。区域内的震旦系—奥陶系组成北东向背斜褶皱,南西端倾伏,北东端撒开,分岔为数支被切割的褶皱翼部,并向南东倒转。广山-栅溪岩体沿背斜轴部侵入,向北东延伸,走向 40~50°,并向西侧倾斜,总面积近 100km²(中心部位被第四系覆盖)。在岩体外接触带的震旦系、寒武系中形成矽卡岩型铁矿和热液型铅锌矿。

矿床由东、西 2 个总体呈 NE40~50°方向展布且大致平行的矿带组成,2 个矿带相距 500~1000m,东南侧称东矿带,西北侧称西矿带。东矿带主体距广山-栅溪岩体最近处约为 700m,且在东矿带钻孔中可见花岗斑岩。根据岩石化学成分和主要造岩矿物的对比,东矿带与广山岩体应为同一期岩浆的产物。广山岩体这次岩浆热液活动在漓渚铁矿成矿过程中起了很重要的作用。

据漓渚幅 1:5 万区调报告的论述,广山花岗岩曾用黑云母 K-Ar 法获得过 153.7Ma 的定年结果,

矿区 E1-E3 线中金云母的年龄为 152.3Ma,具体测试单位和测试人却不得而知。因此,有必要对广山岩体进行更准确的年龄测定工作。

2 样品和分析方法

在广山岩体和栅溪岩体各采有 1 个同位素定年样品:栅溪岩体样品采自栅溪村附近,广山岩体采自下庄村附近。栅溪岩体样品编号为 JS001,岩性为黑云母花岗岩;广山岩体样品编号为 JS002,岩性为花岗斑岩。具体采样位置和地质简图见图 1。

锆石分选在河北省廊坊市科大岩石矿物分选技术有限公司完成。测试之前,在北京离子探针中心进行透射光、反射光拍照,并利用 HITACHI S3000-N 型扫描电子显微镜对锆石晶体进行阴极发光(CL)照相。锆石微量元素含量和 U-Pb 同位素定年在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室(GPMR)利用 LA-ICP-MS 同时分析完成。激光剥蚀系统为 GeoLas 2005,ICP-MS 为 Agilent 7500a。激光剥蚀过程中采用氦气作为载气、氩气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入 ICP 之前通过一个 T 型接头混合。在等离子体中心气流(Ar+He)中加入了少量氮气,以提高仪器灵敏度、降低检出限和改善分析精密度^[7]。每个时间分辨分析数据包括大约 20~30s 的空白信号和 50s 的样品信号。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含量及 U-Th-Pb 同位素比值和年龄计算)采用软件 ICPMS-DataCal^[8-9]完成。详细的仪器操作条件和数据处理方法见 Liu 等^[8-10]的文献。

锆石微量元素含量利用多个 USGS 参考玻璃(BCR-2G 和 BIR-1G)作为多外标、Si 作内标的方法进行定量计算^[9]。这些 USGS 玻璃中元素含量的推荐值据 GeoReM 数据库(<http://georem.mpch-mainz.gwdg.de/>)。U-Pb 同位素定年中采用锆石标准 91500 作外标进行同位素分馏校正,每分析 5 个样品点,分析 2 次 91500。对于与分析时间有关的 U-Th-Pb 同位素比值漂移,利用 91500 的变化采用线性内插的方式进行校正^[9]。锆石标准 91500 的 U-Th-Pb 同位素比值推荐值据 Wiedenbeck 等^[11]的文献。锆石样品的 U-Pb 年龄谱和图绘制和年龄权重平均计算均采用 Isoplot/Ex_ver3^[12]完成。

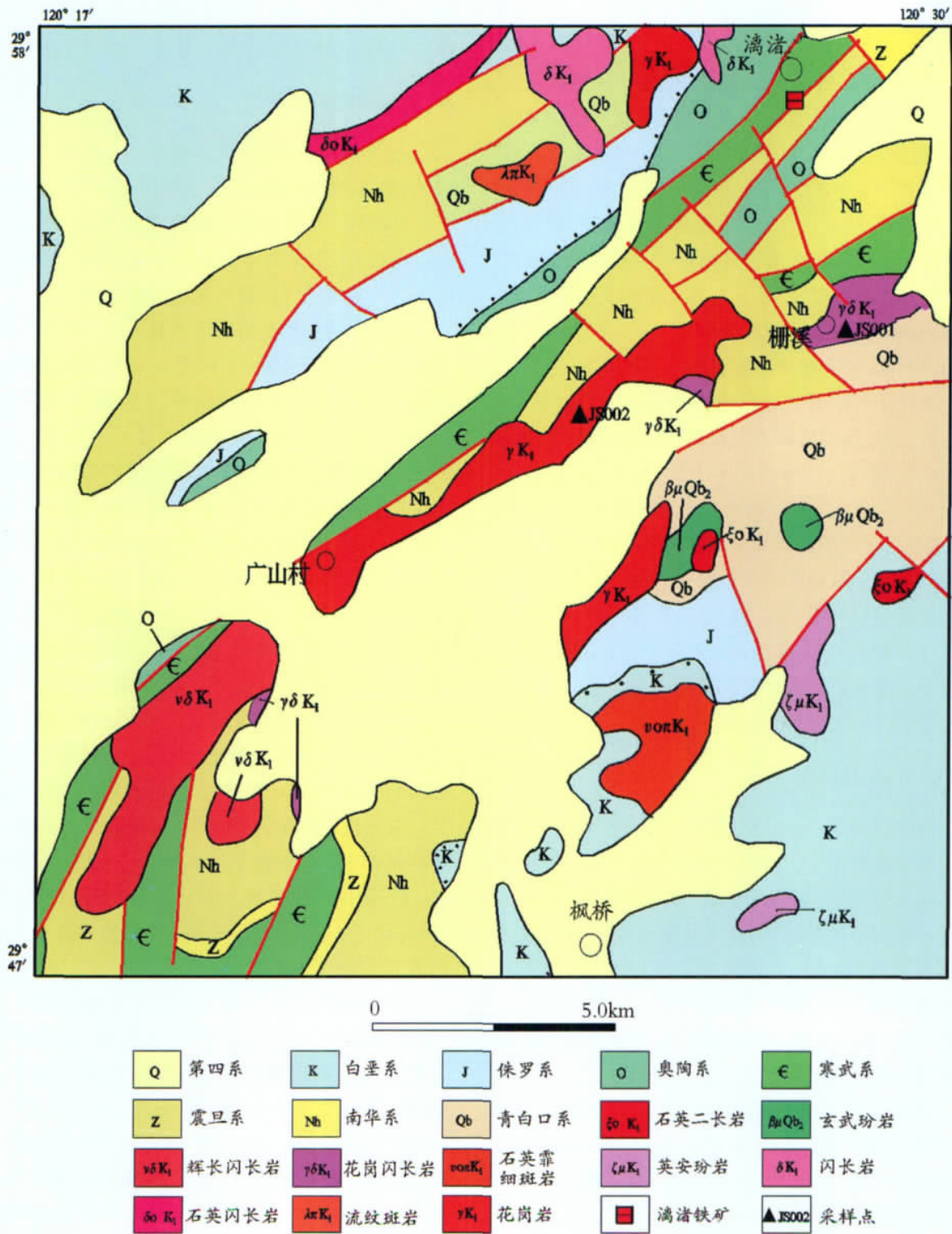


图 1 广山-栅溪岩体地质简图(据《江山-绍兴拼合带地质构造研究》项目地质草图修改)

Fig. 1 Geological sketch map of Guangshan and Zhaxi plutons

3 定年结果

栅溪岩体 JS001 号样品的锆石大多晶形完好，

为长柱状，长宽比为 3:1~5:1，锆石的长度为 80~150μm，阴极发光照片显示清楚的振荡韵律环带(图 2)，为典型的岩浆锆石^[13]。本文对其中 16 颗锆石进

表 1 浙江绍兴地区栅溪岩体(JS001)和广山岩体(JS002)单颗粒锆石 U-Pb 同位素测定结果

Table 1 U-Pb isotopic determinations of single grain zircons from Zhaxi pluton (JS001) and Guangshan pluton (JS002) in Shaoxing area, Zhejiang Province

分析点号	元素含量/ 10^{-6}		比值	同 位 素 比 值						表 观 年 龄 /Ma					
	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1s	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1s	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1s
JS001 -1	232	261	0.89	0.0508	0.0025	0.168	0.008	0.0243	0.0003	235	112	155	2	158	7
JS001 -2	55.6	106	0.52	0.0603	0.0041	0.181	0.011	0.0227	0.0004	617	144	145	2	169	9
JS001 -3	98.5	170	0.58	0.0570	0.0032	0.192	0.010	0.0249	0.0004	500	124	158	2	178	9
JS001 -4	282	366	0.77	0.0542	0.0023	0.166	0.007	0.0223	0.0002	389	96	142	1	156	6
JS001 -5	193	251	0.77	0.0536	0.0025	0.167	0.007	0.0230	0.0003	354	101	147	2	157	6
JS001 -6	207	229	0.91	0.0518	0.0025	0.171	0.008	0.0242	0.0003	276	109	154	2	160	7
JS001 -7	62.6	98.8	0.63	0.0562	0.0044	0.178	0.013	0.0238	0.0004	461	179	152	2	166	11
JS001 -8	207	329	0.63	0.0537	0.0021	0.171	0.006	0.0232	0.0002	367	55	148	2	160	5
JS001 -9	91.2	151	0.61	0.0586	0.0027	0.191	0.009	0.0238	0.0003	554	100	152	2	177	8
JS001 -10	85.6	171	0.50	0.0563	0.0031	0.189	0.010	0.0248	0.0004	465	125	158	2	176	8
JS001 -11	67.7	144	0.47	0.0550	0.0031	0.172	0.009	0.0232	0.0003	413	160	148	2	161	8
JS001 -12	146	216	0.68	0.0596	0.0030	0.185	0.009	0.0228	0.0003	587	112	145	2	173	8
JS001 -13	135	242	0.56	0.0539	0.0028	0.174	0.009	0.0238	0.0003	365	110	152	2	163	7
JS001 -14	78.2	118	0.66	0.0564	0.0043	0.179	0.013	0.0240	0.0004	478	166	153	2	167	11
JS001 -15	93.5	116	0.80	0.0573	0.0039	0.190	0.013	0.0242	0.0004	502	156	154	3	177	11
JS001 -16	63.7	116	0.55	0.0601	0.0037	0.202	0.012	0.0244	0.0004	609	133	155	3	187	10
JS002-1	82.7	150	0.55	0.0614	0.0042	0.186	0.013	0.0224	0.0004	652	150	143	2	173	11
JS002-2	99.9	182	0.55	0.0553	0.0028	0.174	0.009	0.0231	0.0004	433	147	147	2	163	8
JS002-3	1675	5888	0.28	0.0489	0.0008	0.172	0.003	0.0254	0.0002	143	35	161	1	161	2
JS002-4	164	179	0.91	0.0553	0.0037	0.174	0.011	0.0233	0.0003	433	152	149	2	162	10
JS002-5	135	240	0.56	0.0472	0.0027	0.150	0.009	0.0232	0.0003	57.5	133.3	148	2	142	8
JS002-6	237	697	0.34	0.0601	0.0023	0.212	0.008	0.0258	0.0003	609	81	164	2	196	6
JS002-7	104	209	0.50	0.0535	0.0031	0.174	0.0098	0.0239	0.0003	350	131	152	2	163	8
JS002-8	106	176	0.60	0.0590	0.0035	0.183	0.0108	0.0232	0.0003	565	134	148	2	171	9
JS002-9	285	288	0.99	0.0592	0.0027	0.182	0.008	0.0225	0.0003	576	131	144	2	170	7
JS002-10	89.0	142	0.63	0.0533	0.0040	0.184	0.014	0.0251	0.0004	339	168	160	3	171	12
JS002-11	209	468	0.45	0.0538	0.0023	0.1696	0.007	0.0229	0.0003	361	94	146	2	159	6
JS002-12	214	231	0.92	0.0532	0.0031	0.171	0.010	0.0235	0.0003	345	131	150	2	160	8
JS002-13	273	652	0.42	0.0490	0.0018	0.155	0.006	0.0229	0.0002	150	85	146	2	146	5
JS002-14	157	403	0.39	0.0504	0.0020	0.163	0.006	0.0234	0.0003	213	89	149	2	153	6

行了 16 个点的同位素测定(结果见表 1),并且所有这些分析点均位于清楚的岩浆韵律环带上(图 2)。所有分析点的 U 变化于 $(98.8\sim366)\times10^{-6}$ 之间, Th 变化于 $(55.6\sim282)\times10^{-6}$ 之间, Th/U 则在 0.47~0.91 之间, 显示了典型岩浆锆石 Th/U 的特点。在锆石 U-Pb 谐和图解(图 3)中, 16 个分析点均位于谐和线上或附近, 显示了较好的谐和性, 16 个分析点得到的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $150.1\text{Ma}\pm2.6\text{Ma}$, 以此年龄代表栅溪岩体的成岩年龄。

广山岩体 JS002 号样品与栅溪岩体 JS001 号样品相比, 锆石晶形相对较差, 部分锆石颗粒破碎。对于晶形较好的锆石, 长宽比为 2:1~4:1, 锆石的长度

为 60~120 μm , 阴极发光照片显示部分锆石颗粒具有清楚的振荡韵律环带(图 2), 大多数分析点选在这些可见清楚韵律环带的颗粒上。本文对其中 13 颗锆石进行了 14 个分析点的测定(结果见表 1), 结果显示所有分析点的 U 和 Th 分别变化于 $(142\sim5888)\times10^{-6}$ 和 $(82.7\sim1675)\times10^{-6}$ 之间, Th/U 变化于 0.28~0.99 之间, 除 3、6 和 14 号分析点 Th/U 值小于 0.40 外, 其余分析点均大于 0.40, 仍显示岩浆锆石的特点。在锆石 U-Pb 谐和图解(图 4)中, 14 个分析点均位于谐和线上或附近, 但年龄大致分为 2 组, 3、6 和 10 号分析点为一组, 年龄变化于 160~164Ma 之间, 其余分析点为第二组, 其加权平均年龄为 $147.2\text{Ma}\pm$



图2 栅溪岩体JS001号样品和广山岩体JS002号样品CL图像

Fig. 2 CL images of JS001 sample from Zhaxi pluton and JS002 sample from Guangshan pluton
白色圆圈为打点位置,括号前的数字为分析点号,括号内的数字为 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄

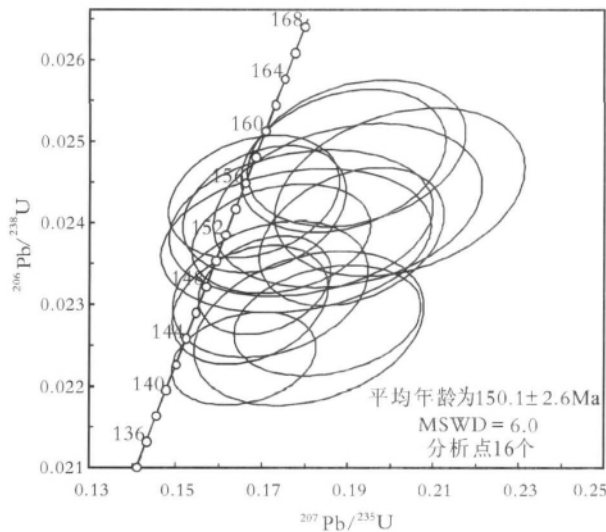


图3 栅溪岩体JS001号样品锆石U-Pb谐和图

Fig. 3 Zircon U-Pb concordia diagram of JS001 sample from Zhaxi pluton

1.7Ma(MSWD=1.8,N=11),此组年龄与栅溪岩体的年龄在误差范围内很接近,表明广山岩体主体与栅溪岩体为同一岩浆事件的产物,不同的是,广山岩体可能是一个经受了多期岩浆事件的复式岩体。

4 讨论

华南分布着大面积的花岗岩,其中燕山期花岗岩占整个华南花岗岩出露面积的50%以上。燕山期通常可细分为燕山早期(侏罗纪,199.6~145.5Ma)和燕山晚期(白垩纪,145.5~65.5Ma)^[14],在华南,燕山早期花岗岩主要分布于福建、广东、广西、湖南等省区,浙江仅零星出露^[14-16]。在孙涛^[14]《新编华南花岗岩及其分布图》中,栅溪岩体被归为燕山早期,而广山岩石被归为燕山晚期。前人曾用K-Ar法对广山岩体进行过同位素定年,其结果为153.7Ma^①,与此次定年结果极为接近,2次定年结果可以互为验证。从本

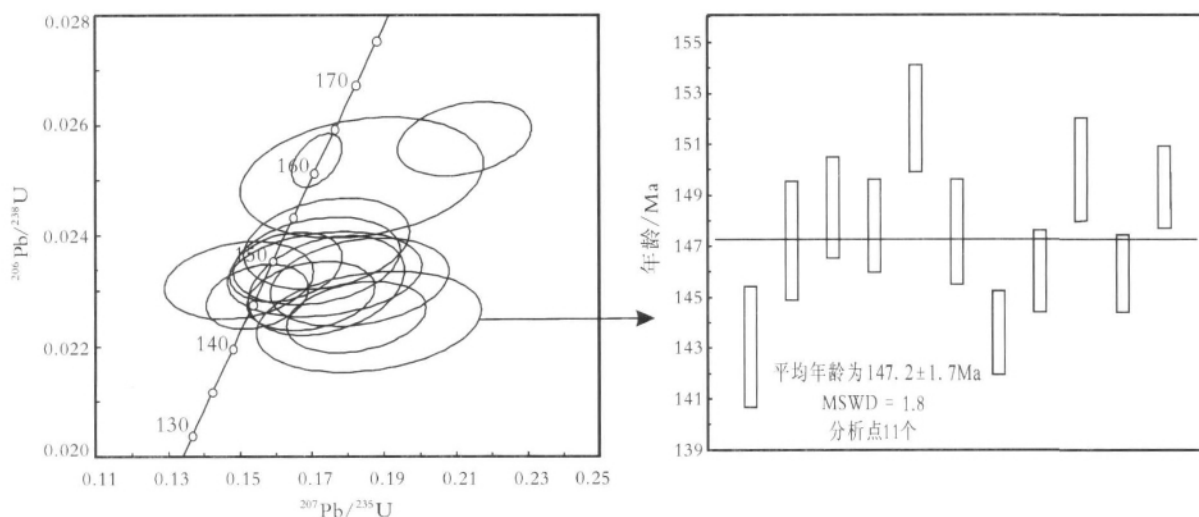


图 4 广山岩体 JS002 号样品锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordia diagram of JS002 sample from Guangshan pluton

次定年结果看,2 个岩体皆成岩于燕山早期,但接近于燕山早期与燕山晚期的界限处。

国际国内众多知名学者对华南中生代大规模岩浆活动提出过自己的模型。如 Zhou 等^[17]提出了消减作用与底侵作用、深熔作用相结合的模式,并用消减角随时间由小向大的变化解释了晚中生代岩浆岩向洋年轻化和带状迁移的现象。由于该模式没有考虑到燕山早期花岗岩是板内岩浆作用的产物,而将全部燕山期花岗岩-火山岩都归因于陆缘弧岩浆作用。因此,稍后 Zhou 等^[15]对该模式进行了修正,提出新的关于华南中生代花岗岩-火山岩成因的两阶段模式,即陆-陆碰撞造山作用形成了早中生代印支期花岗岩,洋对陆消减过程中的伸展造山作用形成了晚中生代燕山期花岗岩-火山岩。具体来说就是,自中侏罗世起华南板块完全受太平洋构造域的制约,并认为伸展造山说^[18]能较好地解释华南晚中生代的地质现象。Li 等^[19]结合一些高精度年代学数据和一些古地理图的变化,提出了用平板俯冲模型来解释华南中生代大规模岩浆活动的观点。孙卫东等^[20]根据太平洋岛链时空分布规律认识到太平洋板块俯冲方向在中生代发生过多次改变,并用太平洋板块俯冲解释了中国东部中生代的岩浆活动。各家观点虽不尽相同,但都有一个共同点,即都认为中国东南部至少在侏罗纪开始就受到太平洋板块俯冲的影响。李献华等^[16]根据最新的高精度年代学数据,对南岭及其邻区的燕山早期花岗岩年代学数据进行

了统计,结果显示南岭及其邻区燕山早期花岗岩主要集中在 2 个阶段,即第 一阶段的 180~170Ma 和第 二阶段的 165~150Ma。第 一阶段(180~170Ma)的岩浆活动规模比较小,主要为分布于湘南—赣南—闽西南地区的双峰式火山岩,赣南地区的铝质 A 型花岗岩和共生的辉长岩^[21-23],湘东南与铜多金属矿有关的一些花岗闪长岩小岩体^[24],以及赣东北赋存超大型斑岩铜矿的德兴石英闪长质—花岗闪长质斑岩^[25]。第 二阶段(165~150Ma)花岗岩规模巨大,构成南岭及邻区燕山早期花岗岩的主体,岩石类型以黑云母花岗岩为主。广山和栅溪岩体应归为第 二阶段,是太平洋板块俯冲影响下大陆岩石圈伸展背景下的产物。

广山、栅溪岩体是燕山早期岩浆活动的产物,成岩时代能否代表成矿时代,即漓渚铁矿的成矿时代是否为燕山早期,是个值得探讨的问题。下面从几个方面对这个问题加以讨论。

一是从野外现象看,广山和栅溪岩体很多地方可见黄铁矿化现象,比如用于定年的 JS001 号样品手标本中就可以见到明显的黄铁矿化,可见成岩作用与成矿关系密切。

二是从矿石的构造特征看,矿石一般沿破碎裂隙充填,呈现细脉浸染状,此现象也表明岩浆热液在成矿过程中起了非常重要的作用。

三是从钻孔资料看,漓渚铁矿东矿 ZK43 号孔见到花岗斑岩,也表明燕山期的成岩作用对成矿起

着关键作用。

四是从区域成矿背景看,华南是中国乃至全球高密度的成矿带,主要成矿时间段便是中生代,即所谓的“大规模成矿”或“大爆发成矿”^[26-27]。毛景文等^[28]对最新的年代学资料总结后认为华南中生代金属矿床主要形成于 3 个阶段,即晚三叠世(230~210Ma)、中侏罗世(170~150Ma)和早中白垩世(134~80Ma)。中晚侏罗世的矿化有 2 种不同的类型,一种是斑岩-矽卡岩型铜矿或铜(钼、金)矿床和一些铅锌矿,成矿时间集中在 170~160Ma 之间,另一种是与花岗岩有关的钨锡多金属矿床,成矿时间集中在 160~150Ma。从广山、柵溪岩体的成岩时代和漓渚铁矿的矿床类型看,漓渚铁矿可以归为 160~150Ma 这期与花岗岩有关的矿床。在广山岩体和柵溪岩体所处的十-杭带(十万大山-杭州)或钦-杭带(钦州-杭州)内,发现了一大批大型或超大型的金属矿床,如湖南柿竹园钨锡钼铋多金属矿床、金船塘锡铋矿、芙蓉锡矿、新田岭钨矿、香花岭锡矿、瑶岗仙钨矿、白云仙钨矿、黄沙坪铅锌锡钼矿等,其成矿时代分布于 161~145Ma 之间^[29-36]。由此可见,在华南,中侏罗世是个极有利的成矿期,区域成矿背景也说明漓渚铁矿的成矿与广山、柵溪等岩体的成岩作用关系密切。

以上种种迹象均说明,漓渚铁矿的形成与广山-柵溪岩体的成岩作用关系密切,成岩时代即代表了成矿时代。燕山早期的岩浆活动,特别是 150Ma 左右的这期岩浆热液活动,为漓渚铁矿的矿化提供了充足的能量和一定的成矿物质,加之铁矿所赋存的震旦系-寒武系本身含有较高的 Fe、Mo 等元素和矿体本身特殊的构造位置,地层、岩浆热液、构造三者共同造就了漓渚铁矿矿体的形成。

广山、柵溪岩体成岩年龄的精确厘定,为在钦-杭带内寻找漓渚铁矿式的金属矿床指明了方向,即应特别关注震旦系-寒武系硅质岩、碳酸盐岩发育的地区。倘若这样的地区接触变质、热液蚀变现象明显,且在周边发现有 150Ma 左右的花岗质岩体,就极有可能获得找矿新的突破。

5 主要结论

(1)柵溪岩体的成岩时代为 $150.1\text{Ma} \pm 2.6\text{Ma}$,而广山岩体是一个经受了多期岩浆事件的复式岩体,主体成岩时代为 $147.2\text{Ma} \pm 1.7\text{Ma}$,两岩体均是燕山早期岩浆活动的产物。

(2)漓渚铁矿的形成与广山、柵溪岩体成岩的这期岩浆热液作用关系密切,广山-柵溪岩体的成岩时间即代表了漓渚铁矿矿化的时间,漓渚铁矿矿体主要形成于中侏罗世(150Ma 左右)。

致谢:浙江省地质调查院卢成忠教授级高级工程师参与了野外工作,在此表示感谢。

参考文献

- [1]水涛,徐步台. 江山-绍兴古陆对接带[J]. 科学通报, 1986,(6): 444-448.
- [2]周新民,朱云鹤. 江绍断裂带的岩浆混合作用及其两侧的前寒武纪地质[J]. 中国科学(B 辑), 1992, (3): 296-303.
- [3]Charvet J, Shu L S, Shi Y S, et al. The building of south China: collision of Yangtze and Cathaysia blocks, problems and tentative answers[J]. J. SE Asian Earth Sci., 1996, 13(3/5): 223-235.
- [4]Li Z X, Li X H, Zhou H W, et al. Grenvillian continental collision in south China: New SHRIMP U-Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia[J]. Geology, 2002, 30(2): 163-166.
- [5]杨明桂,梅勇文. 钦-杭古板块结合带与成矿带的主要特征[J]. 华南地质与矿产, 1997,(3): 52-59.
- [6]朱安庆,张永山,陆祖达,等. 浙江省金属非金属矿床成矿系列和成矿区带研究[M]. 北京:地质出版社, 2009:316-321.
- [7]Hu Z C, Gao S, Liu Y S, et al. Signal enhancement in laser ablation ICP-MS by addition of nitrogen in the central channel gas[J]. Journal of Analytical Atomic Spectrometry, 2008, 23: 1093-1101.
- [8]Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. Chemical Geology, 2008, 257: 34-43.
- [9]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 of mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 2010, 51: 537-571.
- [10]Liu Y, Hu Z, Zong K, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(15): 1535-1546.
- [11]Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses[J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 1995, 19:1-23.
- [12]Ludwig K R. ISOPLLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[S]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, California, 2003.
- [13]吴元保,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, 49(16): 1589-1604.
- [14]孙涛. 新编华南花岗岩及其分布图[J]. 地质通报, 2006, 25(3): 332-335.
- [15]Zhou X M, Sun T, Shen W Z, et al. Petrogenesis of Mesozoic granitoids and volcanic rocks in South China: A response to tectonic evolution[J]. Episodes, 2006, 29(1): 26-33.
- [16]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): 981-991.
- [17] Zhou X M, Li W X. Origin of Late Mesozoic igneous rocks in southeast China: implications for lithosphere subduction and underplating of mafic magmas[J]. Tectonophysics, 2000, 326(3/4): 269-287.
- [18] Collins W J. Nature of extensional accretionary orogens[J]. Tectonics, 2002, 21(4): Article No.1024.
- [19] Li Z X, Li X H. Formation of the 1300km-wide intracontinental orogen and postorogenic magmatic province in Mesozoic South China: A flat-slab subduction model[J]. Geology, 2007, 35(2): 179-182.
- [20] 孙卫东, 凌明星, 汪方跃, 等. 太平洋板块俯冲与中国东部中生代地质事件[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2008, 27(3): 218-225.
- [21] 陈培荣, 孔兴功, 王银喜, 等. 赣南燕山早期双峰式火山-侵入杂岩的 Rb-Sr 同位素定年及意义[J]. 高校地质学报, 1999, 5(4): 367-383.
- [22] Li X H, Chen Z G, Liu D Y, et al. Jurassic gabbro-granite-syenites from southern Jiangxi Province, SE China: Age, origin and tectonic significance[J]. Int. Geol. Rev., 2003, 45: 898-921.
- [23] 谢昕, 徐夕生, 邹海波, 等. 中国东南部晚中生代大规模岩浆作用序幕: J₂ 早期玄武岩[J]. 中国科学(D 辑), 2005, 35(7): 587-605.
- [24] 王岳军, 范蔚茗, 郭锋, 等. 湘东南中生代花岗闪长岩锆石 U-Pb 法定年及其成因指示[J]. 中国科学(D 辑), 2001, 31(9): 745-751.
- [25] Wang Q, Xu J F, Jian P, et al. Petrogenesis of adakitic porphyries in an extensional tectonic setting, Dexing, South China: Implications for the genesis of porphyry copper mineralization[J]. Journal of Petrology, 2006, 47(1): 119-144.
- [26] 华仁民, 毛景文. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. 矿床地质, 1999, 18(4): 300-308.
- [27] 毛景文, 华仁民, 李晓波. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区[J]. 矿床地质, 1999, 18(4): 291-299.
- [28] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境[J]. 高校地质学报, 2008, 14(4): 510-526.
- [29] 李红艳, 毛景文, 孙亚莉, 等. 柿竹园多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究[J]. 地质论评, 1996, 52(1): 261-267.
- [30] 毛景文, 李晓峰, Bernd Lehmann, 等. 华南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄及其动力学意义[J]. 矿床地质, 2004, 23(2): 164-175.
- [31] 毛景文, 谢桂青, 郭春丽, 等. 南岭地区大规模钨锡多金属成矿作用: 成矿时限及动力学背景[J]. 岩石学报, 2007, 23(10): 2329-2338.
- [32] Peng J T, Zhou M F, Hu R Z, et al. Precise molybdenite Re-Os and mica Ar-Ar dating of the Mesozoic Yaogangxian tungsten deposit, central Nanling district, South China[J]. Mineralium Deposita, 2006, 41: 661-669.
- [33] 彭建堂, 胡瑞忠, 毕献武, 等. 湖南芙蓉锡矿床 ⁴⁰Ar-³⁹Ar 同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 2007, 26(3): 237-248.
- [34] 马丽艳, 路远发, 屈文俊, 等. 湖南黄沙坪铅锌矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2007, 26(4): 425-431.
- [35] 姚军明, 华仁民, 屈文俊, 等. 湘南黄沙坪铅锌钨钼多金属矿床辉钼矿的 Re-Os 同位素定年及其意义[J]. 中国科学(D 辑), 2007, 37(4): 471-477.
- [36] Yuan S D, Peng J T, Hu R Z, et al. A precise U-Pb age on cassiterite from the Xianghualing tin-polymetallic deposit (Hunan, South China)[J]. Mineralium Deposita, 2008, 43: 385-372.
- ① 浙江省区域地质调查大队. 1:5 万平水幅、丰惠幅区域地质调查报告. 1990.