

赣南张天堂地区岩体型钨矿晚侏罗世成岩 成矿的同位素年代学证据

丰成友¹ 丰耀东² 许建祥³ 曾载淋³ 余宏全¹
张德全¹ 屈文俊⁴ 杜安道⁴

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 河南省地矿局第三地质调查队, 河南 信阳 464000;
3. 江西省地勘局赣南地质调查大队, 江西 赣州 341000; 4. 国家地质实验测试中心, 北京 100037)

摘要: 摇篮寨钨矿是新近发现于赣南张天堂地区的代表性岩体型钨矿床。笔者对其含矿岩体和矿石进行了成岩成矿年龄精测, 分别获得细粒似斑状白云母花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 $(156.9 \pm 1.7) \text{Ma}$ ($n=11$, MSWD=3.3), 浸染状辉钨矿 Re-Os 同位素的模式年龄为 $(155.2 \pm 2.3) \text{Ma} \sim (156.5 \pm 2.1) \text{Ma}$ 、等时线年龄为 $(155.8 \pm 2.8) \text{Ma}$ ($n=4$, MSWD=0.49)。结合区域最新获得的高精度测年数据的分析, 结果表明, 本区钨矿床形成于晚侏罗世 (集中在 150~160 Ma), 钨成矿和与之有密切成因关系的花岗岩类岩体成岩不存在明显时差 (1~5 Ma), 本区的钨锡成矿对应于华南中生代第二次大规模成矿作用。

关键词: 岩体型钨矿; 晚侏罗世成岩成矿; U-Pb; Re-Os; 锆石; 辉钨矿; 张天堂; 赣南

中图分类号: P618.67; P597.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2007)04-0642-09

岩体型钨矿是指岩体中某一部分岩石或全部岩石 (整个岩体) 有钨矿物呈浸染状分布其中, 或受细脉浸染充填、交代作用而构成可供工业开采利用的钨矿床^[1]。根据所赋存的岩性不同, 可划分为变花岗岩、斑岩和玢岩 3 个亚型。客观地说, 岩体型钨矿作为赣南钨矿的一种重要类型, 但由于本区石英脉型钨矿占绝对主导地位, 因此, 其并未引起人们的足够重视。最近, 在赣南崇义县和上犹县分界处的张天堂地区新发现了摇篮寨岩体型钨矿床^[2], 加强对其研究无疑对深入探讨区域钨大规模成矿作用过程和拓展钨多金属矿的找矿空间具有重要的理论和现实意义。为此, 笔者以含矿白云母花岗岩和浸染状辉钨矿为对象, 分别采用 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年和辉钨矿 Re-Os 等时线定年技术, 精确测定了该矿床的成岩成矿时代。在此基础上, 结合前人资料, 探讨了赣南地区钨成岩和成矿时代的关系, 以及区域钨大规模成矿的地球动力学过程。

1 区域成矿地质背景

赣南地区大地构造位置处于欧亚大陆板块与滨西太平

洋板块消减带的内侧华夏板块中, 在成矿带上, 恰位于武夷山和南岭两大成矿带的交汇复合部位, 成矿条件十分优越。区内广布的震旦纪—寒武纪基底岩系及泥盆纪地层钨含量高于地壳克拉克值几倍至几十倍, 成矿物质丰富。受南岭 EW 向与武夷山 NNE 向构造带的复合控制, 特别是中生代以来滨西太平洋构造域活动影响, 岩浆侵入活动频繁, 造成本区醒目的以 EW 向构造岩浆岩带为主干、叠加复合了 NNE—NE 向构造为主导的“三纵三横”构造格局。岩体出露众多, 包括加里东、海西、印支、燕山、喜山 5 个旋回。其中燕山旋回是本区活动的最鼎盛时期 (占全区岩体总数的 70%), 并具有多阶段、多次成岩特点, 岩性主要为酸性岩类的似斑状黑云母花岗岩、二长花岗岩、二长花岗岩斑岩等, 以多硅 (>70%)、富碱 (>8%)、多挥发分、高度分异演化的重熔型铝过饱和花岗岩类为特征, 并富含钨、锡、钼、铋、铍等成矿元素, 是本区钨多金属矿的重要成矿母岩。

优越的成矿地质条件, 造就了本区丰富的钨矿资源。自 1907 年西华山钨矿首先发现至今, 共发现钨矿床 (点) 429 处, 其中大型矿床 9 处、中型 18 处、小型 17 处, 主要矿床类

收稿日期: 2007-04-16; 改回日期: 2007-05-20

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目 (1212010561603-2) 资助。

作者简介: 丰成友, 男, 1971 年生, 博士, 副研究员, 从事矿床地质、地球化学研究; E-mail: fengchy@yahoo.com.cn。

型包括热液石英脉型、花岗岩型、云英岩型、矽卡岩型、层控浸染型、破碎带型、火山—次火山热液型等,以前两者分布最广、储量最大。根据成矿地质条件、矿化特征与主要规律,可将赣南地区划分为 3 个成矿带(诸广山东坡、于山和武夷山)、7 个远景区,而目前已发现的绝大多数大、中型矿床及矿点集中分布在诸广山东坡和于山 2 大成矿带中的 4 个成矿集中区(崇义—大余—上犹、赣县—于都、龙南—定南—全南、兴国—宁都)内。

2 矿床地质特征

摇篮寨钨矿位于赣南崇(义)—(大)余—(上)犹矿集区之天门山—红桃岭矿田北部、张天堂岩体南侧,矿区出露地层主要为中寒武统高滩组变砂岩夹板岩、下寒武统牛角河组变砂岩、板岩、炭质板岩、含炭硅质板岩,以及上震旦统老虎塘组变砂岩、板岩夹硅质岩(图 1)。褶皱和断裂构造发育,前者表现为一复式倒转背斜,轴部和两翼分别由震旦纪和寒武纪地层构成,轴向近 SN,轴面倾向东,倾角 65~75°;后者主要有近 EW、NE—NNE 和 NW 向 3 组,宽几十厘米至数米,倾角较陡(50~80°),张扭—压扭性质,在岩体内外接触带中的次一级的近 EW 向裂隙中充填有石英脉型工业钨矿体。矿区出露燕山期张天堂岩体的一部分,主体岩性为中细粒斑状二云母花岗岩,另有较小面积的细粒斑状白云母花岗岩以岩盖

状产于中细粒斑状二云母花岗岩的顶部。中细粒斑状二云母花岗岩主要由钾长石(33%~35%)、斜长石(30%~31%)、石英(26%~28%)、黑云母(2%~4%)、白云母(1%~3%)组成,白云母有两期,后期白云母呈云片状常沿长石解理交代,有时交代黑云母,副矿物有磁铁矿、磷灰石、磷钼矿、锆石、刚玉、锡石、黑钨矿等。岩石化学和微量元素分析结果^①表明,以高硅($SiO_2 > 74\%$)、富钠($Na_2O > 4.5\%$)、铝过饱和、贫铁、镁、钙,以及轻稀土相对富集而钨强烈亏损等为特点,其 W、Mo 含量分别是花岗岩维氏值的 20 倍和 8 倍。细粒斑状白云母花岗岩与二云母花岗岩有相似的矿物组成、结构构造,只是黑云母少见,白云母增加。野外观察发现,二者呈渐变接触关系,应为同源同期分异之产物。

矿体为细粒斑状白云母花岗岩自蚀变岩体型,地表呈一 NE 向延伸的纺锤形,长约 500 m,宽约 200 m,出露面积近 0.1 km²。矿体厚度中部较大,边部较小,最大厚度超过 10 m,平均品位 WO₃ 为 0.112%、Sn 为 0.032%、Mo 为 0.014%。主要金属矿物有黑钨矿、白钨矿、锡石、辉钼矿、辉铋矿、闪锌矿、黄铁矿、黄铜矿等,非金属矿物主要有石英、长石、萤石、白云母、绿泥石、绿帘石等。矿体结构以他形不等粒结构、似斑状结构为主,矿体构造为浸染状和块状构造。在矿化细粒斑状白云母花岗岩中,常见白云母化、钠长石化蚀变作用,局部沿裂隙产生云英岩化、绿泥石化、绿帘石化等。

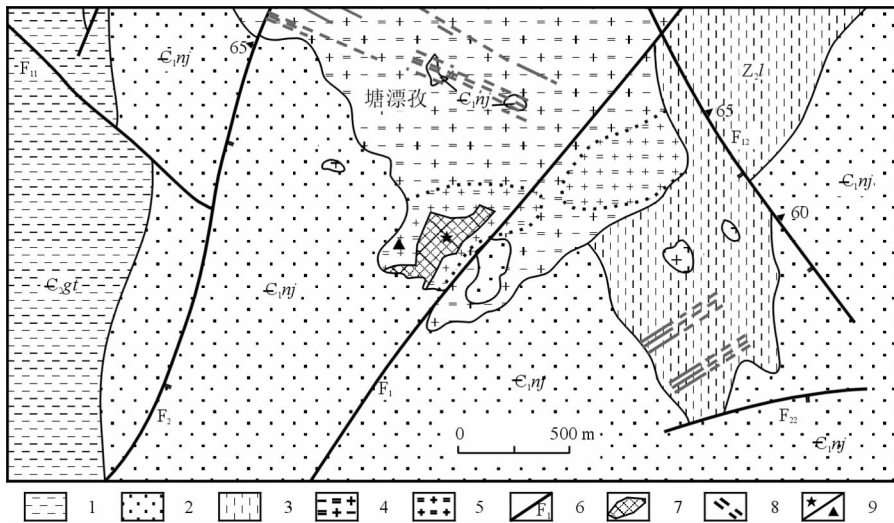


图 1 塘漂孜钨矿地质简图

- 1—中寒武统高滩组;2—下寒武统牛角河组;3—上震旦统老虎塘组;4—中细粒二云母花岗岩;5—细粒似斑状白云母花岗岩;
- 6—断层;7—岩体型钨矿体;8—石英脉型钨矿脉;9—辉钼矿/花岗岩采样位置

Fig.1 Geological sketch map of the Tangpiaozi tungsten district

- 1—Middle Cambrian Gaotan Formation;2—Lower Cambrian Niujiache Formation;3—Upper Sinian Laohutang Formation;
- 4—Medium-to fine-grained two-mica granite;5—Fine-grained porphyritic muscovite granite;6—Fault;
- 7—Granite body-type tungsten orebody;8—Quartz vein-type tungsten orebody;9—Sampling location of molybdenite/granite

① 江西地矿局地质调查研究大队区调二队. 1:5 万上犹县幅区调地质图说明书, 1993.

3 含矿岩体锆石 SHRIMP U-Pb 测年

3.1 样品采集与处理

YLz-6 细粒斑状白云母花岗岩样品采于张天堂岩体的南部(图 1),地理坐标:东经 114°30'14",北纬 25°42'46"(GPS 定位)。样品新鲜、呈灰白色、半自形细粒状结构、块状构造,主要矿物为石英、长石、白云母及少量的黑云母,副矿物有磁铁矿、磷灰石、锆石、磷钇矿、锡石、黑钨矿等。

将待测的花岗岩样品破碎后用水淘洗去粉尘,先用磁选方法除去磁铁矿等磁性矿物,再用重液粗选出锆石,最后在双目显微镜下手工精选出锆石,纯度达 99%以上。

3.2 测试方法

将挑选好的待测锆石颗粒与标准锆石(TEM,其年龄为 417 Ma)一起粘贴,制成环氧树脂样品靶,打磨抛光并使其露出中心部位,然后进行反射光、透射光和阴极发光显微照相。高清晰阴极发光照相和锆石 U-Th-Pb 分析及定年均在北京离子探针中心完成。束斑平均大小为 30 μm,为了尽量降低锆石表面和镀金过程中普通 Pb 的污染,测定过程中先用束斑扫描 5 min,具体测试条件及流程根据宋彪等^[3]。数据处理、年龄计算采用 Ludwig 博士编写的 SQUID 1.0 及 ISOPLOT 程序,由于部分锆石测点普通铅含量稍高,测试数据采用 ²⁰⁴Pb 校正时偏离谐和线较大,所以采用 ²⁰⁶Pb 进行校正。单个测试点的误差均为 1σ,²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄的加权平均值误差为 95%置信度误差。因所测定样品为年轻锆石,故采用 ²⁰⁶Pb/²³⁸U

年龄。

3.3 测试结果

从重约 3 kg 的花岗岩样品中,共挑选出 82 粒锆石。锆石呈浅黄色、无色,透明,多为短柱状至长柱状,大小 100~300 μm,长宽比多为 2:1~3:1。在阴极发光图像中(图 2),绝大多数锆石都具有密集规则的岩浆韵律环带,应为岩浆成因^[4-6]。16 个数据点分析结果显示,U、Th 含量分别为 154×10⁻⁶~7156×10⁻⁶,105×10⁻⁶~1788×10⁻⁶,Th/U 为 0.13~0.94(表 1)。在谐和图解(图 3)上,有的因放射性成因铅含量较高(如点号 2.1、7.1、10.1 和 11.1 分别为 60.3×10⁻⁶、130×10⁻⁶、41.0×10⁻⁶ 和 113×10⁻⁶),有的普通铅校正正值较大(如点号 11.1 为 15.11%),因此出现一定偏离,不参加年龄计算。其余的 11 个数据点集中分布在谐和线上,其 ²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄为(156.9±1.7) Ma(MSWD=3.3),代表该似斑状白云母花岗岩的形成时代。

4 辉钼矿 Re-Os 同位素测年

4.1 样品采集与处理

4 件辉钼矿样品均采自摇篮寨矿床露天民采坑内,辉钼矿呈细粒鳞片浸染状分布于钨锡矿化白云母花岗岩中。样品先后经过重力分离、电磁分离和在实体显微镜下挑选获得,辉钼矿纯度在 99%以上。

4.2 测试方法

样品分析和测试在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室完成,分析仪器是 PQ Excell ICP-MS,Re-Os 同位

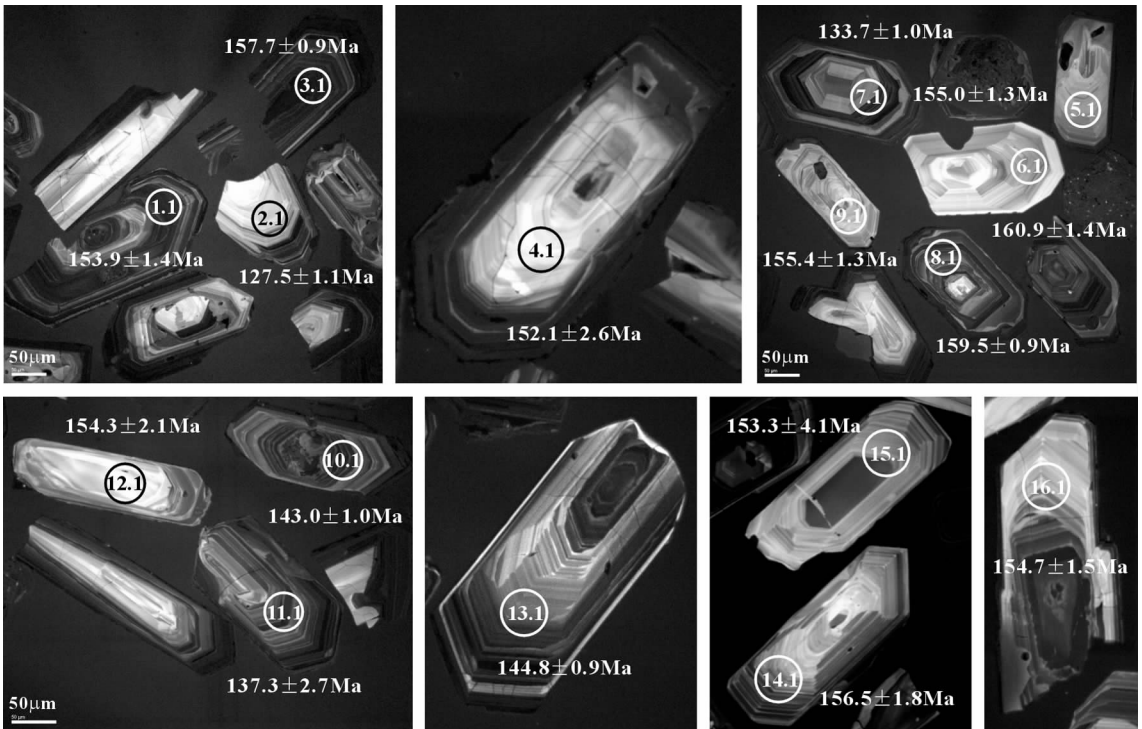


图 2 细粒白云母花岗岩中锆石的阴极发光图像及测点位置

Fig.2 Cathodoluminescence images of zircons from fine-grained muscovite granite and spot sites

表 1 细粒白云母花岗岩锆石 SHRIMP 定年分析结果
Table 1 Zircon SHRIMP dating of fine-grained muscovite granite

点号	$^{206}\text{Pb}/\%$	$\text{U}/10^{-6}$	$\text{Th}/10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$ 及误差	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ 及误差	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ 及误差	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma
1.1	2.64	4615	944	0.21	98.4	0.05035±0.010	0.1677±0.013	0.02416±0.0080	153.9±1.4
2.1	2.78	3418	711	0.21	60.3	0.04877±0.017	0.1343±0.019	0.01998±0.0077	127.5±1.1
3.1	0.82	4863	881	0.19	104	0.04925±0.012	0.1681±0.013	0.02476±0.0052	157.7±0.9
4.1	10.74	253	150	0.61	5.82	0.04950±0.100	0.1630±0.100	0.02388±0.0088	152.1±2.6
5.1	0.54	382	189	0.51	8.03			0.02433±0.0078	155.0±1.3
6.1	0.45	418	230	0.57	9.13	0.04840±0.025	0.1687±0.026	0.02527±0.0076	160.9±1.4
7.1	1.15	7156	918	0.13	130	0.04910±0.0092	0.1418±0.011	0.02095±0.0069	133.7±1.0
8.1	1.35	4087	1447	0.37	89.1	0.0506±0.031	0.1746±0.031	0.02504±0.0052	159.5±0.9
9.1	0.77	338	105	0.32	7.13	0.0486±0.062	0.1630±0.063	0.02439±0.0080	155.4±1.3
10.1	2.65	2069	795	0.40	41.0	0.0540±0.024	0.1672±0.024	0.02244±0.0054	143.0±1.0
11.1	15.11	5168	1788	0.36	113	0.0502±0.088	0.1490±0.088	0.02152±0.0056	137.3±2.7
12.1	2.30	154	139	0.94	3.27			0.02422±0.0100	154.3±2.1
13.1	0.59	1346	467	0.36	26.4	0.04878±0.015	0.1528±0.016	0.02272±0.0059	144.8±0.9
14.1	2.21	223	132	0.61	4.82	0.04680±0.062	0.1586±0.063	0.02458±0.0092	156.5±1.8
15.1	1.05	203	121	0.61	4.24	0.05230±0.059	0.1740±0.064	0.02406±0.0240	153.3±4.1
16.1	2.45	340	166	0.50	7.27	0.04630±0.045	0.1552±0.046	0.02429±0.0080	154.7±1.5

注:表内误差为 1σ,Pbc 和 Pb* 分别表示普通铅和放射性成因铅。

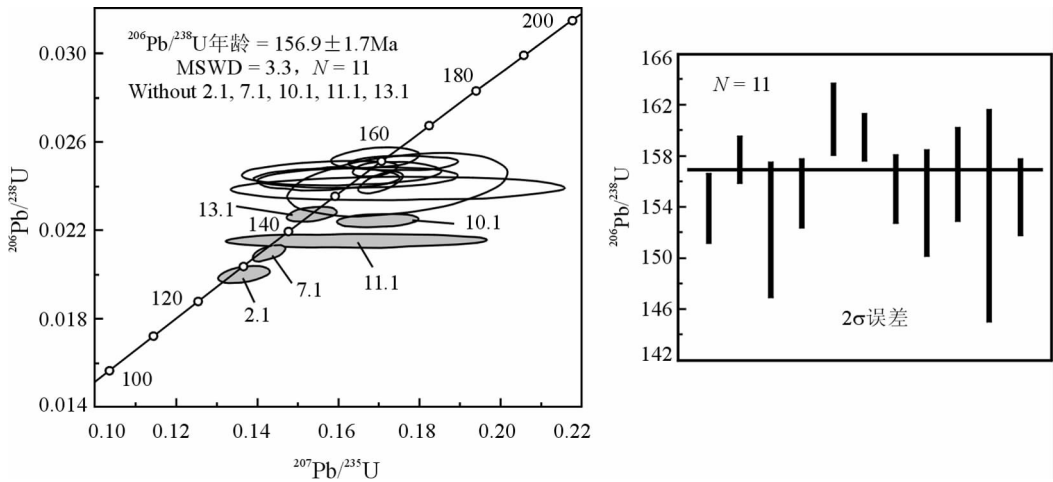


图 3 细粒白云母花岗岩(Ylz-6)中锆石 SHRIMP U-Pb 谐和图

Fig.3 SHRIMP U-Pb concordia diagram of zircons from fine-grained muscovite granite

素分析的原理和详细分析方法参见文献[7-10]。现简述如下:准确称取辉钼矿,由长细颈漏斗加入到 Carius 管底部。缓慢加液氮到有半杯乙醇的保温杯中,调节温度到-50℃~-80℃。放装好样的 Carius 管到该保温杯中,通过长细颈漏斗把准确称取的 ^{185}Re 和 ^{190}Os 混合稀释剂加入到 Carius 管底部,再加入 4mL 10 mol/L 的 HCl 和 4 mL 16 mol/L 的 HNO_3 。当管底溶液冰冻后,用丙烷氧气火焰加热封好 Carius 管的细颈部分,放入不锈钢套管内。轻轻放套管入鼓风机烘箱内,待回到室温后,逐渐升温到 230℃,保温 12 h。在底部冷冻的情况下,打

开 Carius 管,并用 40 mL 水将管中溶液转入蒸馏瓶中。于 105~110℃蒸馏 50 min,用 10 mL 水吸收蒸出的 OsO_4 ,用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)测定 Os 同位素比值。将蒸馏残液倒入 150 mL Teflon 烧杯中,置于电热板上加热近干,再加少量水,加热近干,重复两次以降低酸度。加入 10 mL 5 mol/L NaOH,稍微加热,转为碱性介质。转入 50 mL 聚丙烯离心管中离心,取上清液转入 120 mL Teflon 分液漏斗中。加入 10 mL 丙酮,振荡 5 min,萃取 Re 。静止分相,弃去水相。加入 2 mL 5 mol/L NaOH 溶液到分液漏斗中,振荡 2 min,洗去丙

表2 摇篮寨钨矿辉钼矿的 Re-Os 同位素测试结果

Table 2 Re-Os isotopic data for molybdenite from the Yaolanzai tungsten deposit

样品号	样重 (g)	Re (10^{-9})		普 Os (10^{-9})		^{187}Re (10^{-9})		^{187}Os (10^{-9})		模式年龄	
		测定值	2 σ	测定值	2 σ	测定值	2 σ	测定值	2 σ	年龄/Ma	2 σ
Ylz-1	0.501	78.75	0.66	0.0020	0.0002	49.50	0.42	0.1292	0.0012	156.5	2.1
Ylz-3	0.504	29.67	0.32	0.0016	0.0003	18.65	0.20	0.04865	0.00049	156.4	2.4
Ylz-4	0.325	50.78	0.46	0.0033	0.0006	31.92	0.29	0.0826	0.0009	155.2	2.3
Ylz-5	0.505	62.24	0.46	0.0022	0.0004	39.12	0.29	0.10165	0.00092	155.8	1.9

注:①由国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室杜安道、屈文俊等分析;②普 Os 是按 $^{192}\text{Os}/^{190}\text{Os}$ 比值根据 Nier 值进行计算的。

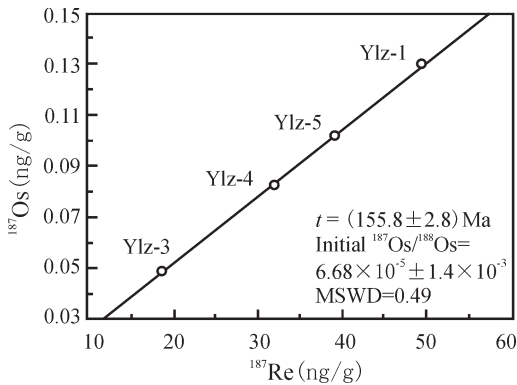


图4 摇篮寨钨矿辉钼矿 Re-Os 等时线年龄

Fig.4 Molybdenite Re-Os isochron of the Yaolanzai tungsten deposit

酮相中的杂质。弃去水相,排丙酮到 150 mL 已加有 2 mL 水的 Teflon 烧杯中。在电热板上 50℃ 加热以蒸发丙酮,加热溶液至干。加数滴浓硝酸和 30% 过氧化氢,加热蒸干以除去残存的钼。用数毫升稀 HNO₃ 溶解残渣,稀释到硝酸浓度为 2%。备 ICP-MS 测定 Re 同位素比值。若含铼溶液中盐量超过 1 mg/mL,需采用阳离子交换柱除去钠。

4.3 测试结果

摇篮寨钨矿辉钼矿的 Re、Os 含量见表 2, 其中 ^{187}Os 为总 ^{187}Os , 计算时的误差指其总误差,包括样品的称量误差、稀释剂标定误差、质谱测量误差和质量分馏校正误差等,置信度为 95%。模式年龄的计算误差还包括 ^{187}Re 衰变常数的不确定度 (1.02%)。模式年龄 t 按下式计算:

$$t = \frac{1}{\lambda} \left[\ln \left(1 + \frac{^{187}\text{Os}}{^{187}\text{Re}} \right) \right]$$

其中 λ (^{187}Re 衰变常数) = $1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ 。本次实验全流程空白水平 Re 约 2 pg, 普通 Os 为 0.2 pg, 远远小于所测样品中 Re、Os 含量,不会影响实验中 Re、Os 含量的准确测定。

从表 2 可见,摇篮寨钨矿 4 件辉钼矿的 Re 含量不高,为 $29.67 \times 10^{-9} \sim 78.75 \times 10^{-9}$, 但 Re 和 Os 的含量变化范围均较小,模式年龄十分接近 ($155.2 \pm 2.3 \text{ Ma} \sim 156.5 \pm 2.1 \text{ Ma}$), 4 个数据点构成一条很好的 $^{187}\text{Re}-^{187}\text{Os}$ 等时线(图 4), 年龄为 $(155.8 \pm$

2.8) Ma (MSWD=0.49)。等时线的截距为 0.0001 ± 0.0014 , 十分接近于 0 点,说明辉钼矿中不存在普通 Os, ^{187}Os 都是 ^{187}Re 衰变的产物,表明所获得的模式年龄也是有效的,代表该矿床的成矿年龄。

5 讨论

5.1 赣南钨矿成岩成矿时代

5.1.1 成矿时代

众所周知,素有“世界钨都”美誉的江西省赣南地区不仅具有极佳的钨成矿地质条件,而且产有密集的不同类型大中型钨矿床,尤其是黑钨矿床乃世界之最。然而,限于研究程度和分析测试技术水平,以往获得的大多数矿床成矿年龄数据精度低、误差大,不能对本区钨大规模成矿作用时代进行精确限定。那么,赣南地区究竟只有一次还是几次钨成矿作用?它们是否为同一时期和同一地球动力学过程下的产物?

本次研究获得张天堂地区岩体型钨矿的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 155.2~156.5 Ma (加权平均值为 $155.9 \pm 1.1 \text{ Ma}$, MSWD=0.30), Re-Os 等时线年龄为 $(155.8 \pm 2.8) \text{ Ma}$ 。可见,该矿床形成于晚侏罗世。此外,笔者^①还获得位于同一个矿集区内的牛岭内带石英脉型钨矿辉钼矿的模式年龄为 150.5~163.9 Ma, Re-Os 等时线年龄为 $(154.9 \pm 4.1) \text{ Ma}$ 和 $(154.6 \pm 9.7) \text{ Ma}$;樟斗外带石英脉型钨矿辉钼矿的模式年龄为 155.6~168.0 Ma, Re-Os 等时线年龄为 $(149.1 \pm 7.1) \text{ Ma}$ 。陈郑辉等^[11]最新获得崇义县淘钨坑外带石英脉型钨矿辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 $(154.4 \pm 3.8) \text{ Ma}$;李华芹等^[12]测得漂塘和大吉山钨矿石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄分别为 $(150.2 \pm 1.4) \text{ Ma}$ 和 $(150.4 \pm 8) \text{ Ma}$ 。上述高精度测年数据表明,本区钨矿床形成于晚侏罗世,集中在 150~160 Ma,进而厘定了本区钨大规模成矿作用时代。

5.1.2 成岩和成矿时差讨论

随着高精度测年技术的广泛应用和数据不断积累,有关赣南地区钨矿成矿年龄和与成矿有关的花岗岩类侵入体成岩年龄的关系(时差)问题逐渐引起人们的注意。张文兰等^[13]认为大吉山钨矿主体花岗岩为成矿母岩,其形成时代早于补体花岗岩 (151.7 Ma, 单颗粒锆石 U-Pb 法),而同时测得主矿

①丰成友,余宏全,张德全,等. 闽中—粤东地区铅锌铜矿勘查准则及新区预测研究报告, 2006.

脉成矿年龄为 144~147 Ma(云母 $^{39}\text{Ar}-^{40}\text{Ar}$ 法),由此得出钨成矿作用与相关的花岗岩之间存在较长时差的结论。与之不同,本次测得摇篮寨岩体型钨矿的成岩、成矿时代非常一致,分别为(156.9±1.7) Ma 和(155.8±2.8)Ma。笔者^①在牛岭地区获得内、外带石英脉型矿床的辉钨矿 Re-Os 等时线年龄为(154.9±4.1)Ma~(149.1±7.1)Ma,与所获得的牛岭花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄(151.4±3.1)Ma 在误差范围内相近。在淘锡坑大型外带石英脉型钨矿床,最新获得矿区深部与成矿密切相关的 2 件似斑状黑云母花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(157.6±3.5)Ma 和(158.7±3.9)Ma(与郭春丽博士交流),与(154.4±3.8)Ma 辉钨矿 Re-Os 等时线成矿年龄在误差范围内亦较接近。

区域上,一些学者^[14-21]对南岭地区多个典型钨锡矿床的研究表明,它们的成岩成矿时差也局限在一定范围。如湖南柿竹园超大型 W-Bi 多金属矿床的矽卡岩型矿体辉钨矿 Re-Os 等时线年龄为(151.0±3.5)Ma^[14]、云英岩矿脉云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为(153.4±0.2)Ma^[15],相关的千里山似斑状黑云母花岗岩 Rb-Sr 等时线年龄为(152±9)Ma^[16]、骑田岭花岗岩侵入年龄及其相关的锡成矿年龄数据较多,分别为(156.9±3.1)Ma~(160±2)Ma 和(156.1±0.4)Ma~(160.1±0.9)Ma^[15, 17-19];付建明等^[20]获得九嶷山大坳钨锡矿床的辉钨矿 Re-Os 等时线年龄为(151.3±2.4)Ma,与之相关的金鸡岭黑云母二长花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(156±2)Ma^[21]。可见,赣南及其南岭地区钨锡矿床大规模成矿作用和与之有密切成因联系的花岗岩类岩体侵入活动未出现明显时差(1~5 Ma),表明它们均形成于同一成岩成矿系统。

5.2 成矿物质来源

由于 Re 和 Os 的相容性不同^[22-24],导致在壳幔分异和地球化学循环过程中,Os 趋于在地幔富集,Re 相对亲地壳,因而不同地球化学储源库特别是地壳和地幔具有截然不同的 Re、Os 同位素特征。因此,Re-Os 同位素体系不仅可用来直接定年,而且亦是成岩成矿物质来源强有力的示踪剂。

Mao^[25]对中国不同类型钨矿床中辉钨矿的 Re 含量变化进行综合分析后,认为矿床中辉钨矿的 Re 含量可以反映其成矿物质来源,从与地幔有关的矿床→与 I 型花岗岩有关的矿床→与 S 型花岗岩有关的矿床,Re 的含量从 $n \times 10^{-4}$ → $n \times 10^{-5}$ → $n \times 10^{-6}$ 。Stein et al^[26]同样认为成矿物质以幔源为主的矿床比以壳源为主的矿床具有更高的 Re 含量。本次研究获得摇篮寨矿床中辉钨矿的 Re 含量变化于 29.67×10^{-9} ~ 78.75×10^{-9} ,显然其成矿物质主要来源于地壳。

5.3 成矿动力学过程讨论

对华南中生代大规模成矿作用,华仁民等^[27, 28]、毛景文等^[29]进行了系统总结和高度概括。尽管均一致认为存在 3 次大规模成矿,但给出的每次成矿时间却相差较大,其原因主要是缺少更多高精度成矿年龄数据的支持。华仁民等^[28]的最新研究

成果将华南地区中生代大规模成矿作用时间分为 3 次,分别为 180~170 Ma、150~139 Ma 和 125~98 Ma,第一次为印支构造运动主碰撞期(250~230 Ma^[30])之后经 200~185 Ma 调整期产生的燕山早期 Cu-PbZn-(Au)成矿作用,形成于造山后的岩石圈“局部伸展-拉张裂解”地球动力学环境^[31, 32],与之有关的岩浆活动主要有 4 种,即玄武质岩浆活动(178~175 Ma^[33])、双峰式岩浆活动(175~158 Ma^[34, 35])、A 型花岗岩及相关的正长岩-花岗岩套(178~176 Ma^[36, 37])和钙碱性岩浆活动(184~170 Ma^[38]),主要矿产为产在江南造山带和湘东南地区与钙碱性岩浆活动有关的铜、铅锌多金属矿床,如铜厂、富家坞、银山、水口山、宝山、黄沙坪、铜山岭等;第二次为燕山中期岩石圈“全面伸展-减薄”背景下形成的、与陆壳重熔型花岗岩类有关的 W-Sn-Nb-Ta 成矿作用,以湘南和赣南为典型,有关年代学证据参见前述;第三次为燕山晚期的大规模成矿作用,主要包括:① 与岩石圈大规模伸展形成的花岗质火山-侵入杂岩有关的 Sn-U 矿化,如岩背锡矿花岗岩斑岩年龄 128~104 Ma^[39]、大厂锡矿成矿年龄 91.4~94.5 Ma^[40, 41]、相山铀矿火山岩-花岗斑岩年龄 141~126 Ma^[42, 43];② 与受太平洋构造体系影响形成的钙碱系列火山-侵入岩有关的 Au、Cu、PbZn、Ag 成矿,如江西冷水坑、浙江五部、治岭头和福建紫金山等,张德全等^[44]、刘晓东等^[45]分别获得紫金山碧田矿床冰长石 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄为 94.7 Ma 和 91.5 Ma。从本次岩体型钨矿的成岩成矿时代测定结果以及其他最新高精度测年数据来看,这些钨锡矿床确实是华南中生代第二次大规模成矿作用的产物,但并没有显示出钨锡成矿与陆壳重熔型花岗岩侵入存在明显的时差。

6 结论

(1) 摇篮寨钨矿是一个产于赣南张天堂地区的典型岩体型变花岗岩亚型钨矿床,其最新发现对拓展本区钨锡矿床找矿空间具有重要意义。笔者利用 SHRIMP 锆石 U-Pb 法和辉钨矿 Re-Os 等时线法定年技术,分别获得张天堂似斑状细粒白云母花岗岩体和浸染状辉钨矿化钨锡矿石的年龄为(156.9±1.7)Ma 和(155.8±2.8)Ma。

(2) 综合分析区域上最新获得的高精度成岩成矿年龄数据结果表明,本区钨矿床形成于晚侏罗世,集中在 150~160 Ma,对应于区域华南中生代第二次大规模成矿作用;钨成矿和与之有密切成因关系的花岗岩类岩体成岩不存在明显时差。

致谢:锆石阴极发光照相和 SHRIMP U-Pb 年龄测定得到了北京离子探针中心的周慧、陶华老师和杜利林博士的热情帮助与指导,宋彪研究员对本文提出了许多宝贵意见,在此一并致谢!

参考文献(References):

[1] 朱焱龄,李崇佑,林运淮.赣南钨矿地质[M].南昌:江西人民出版

① 丰成友,余宏全,张德全,等.闽中—粤东地区铅锌铜矿勘查准则及新区预测研究报告,2006.

- 社, 1981:1-440.
- Zhu Yanling, Li Congyou, Lin Yunhui. Geology of Tungsten Deposits in the Southern Jiangxi Province [M]. Nanchang: Jiangxi People Publishing House, 1981:1-440(in Chinese).
- [2] 朱祥培, 张永忠, 徐九发. 江西崇义塘漂矽岩体型钨矿床地质特征及其找矿意义[J]. 资源调查与环境, 2006, 27(2):153-158.
- Zhu Xiangpei, Zhang Yongzhong, Xu Jiufa. The geological characteristics and its ore prospecting significance of Tangpiaozi granite body-type tungsten deposit, Jiangxi [J]. Resources Survey & Environment, 2006, 27(2):153-158(in Chinese with English abstract).
- [3] 宋彪, 张玉海, 万渝生, 等. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 2002, 48(增刊):26-30.
- Song Biao, Zhang Wanhai, Wan Yusheng, et al. Mount making and procedure of the SHRIMP dating [J]. Geological Review, 2002, 48 (supp.):26-30(in Chinese with English abstract).
- [4] Rowley D B, Xue F, Tucker R D, et al. Ages of ultrahigh pressure metamorphism and prolioth orthogneisses from the eastern Dabie Shan:U/Pb zircon geochronology [J]. Earth and Planetary Letters, 1997, 151:191-203.
- [5] Keay S, Steele D, Compston W. Identifying granite sources by SHRIMP U -Pb zircon geochronology:an application to the Lachlan foldbelt[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1999, 137:323-341.
- [6] Hoskin P W O, Black I P. Metamorphic zircon formation by solid-state recrystallization of protolith igneous zircon [J]. Journal of Metamorphic Geology, 2000, 18:423-439.
- [7] Shirey S B and Walker R J. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis[J]. Anal. Chem., 1995, 67:2136-2141.
- [8] Du A D, Wu S Q, Sun D Z, et al. Preparation and certification of Re -Os dating reference materials:Molybdenite HLP and JDC [J]. Geostandards and Geoanalytical Research, 2004, 28 (1):41-52.
- [9] 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 等. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄[J]. 岩矿测试, 2001, 20(4):247-252.
- Du Andao, Zhao Dunmin, Wang Shuxian, et al. Precise Re -Os dating for molybdenite by ID -NTIMS with Carius tube sample preparation[J]. Rock and Mineral Analysis, 2001, 20(4):247-252(in Chinese with English abstract).
- [10] 屈文俊, 杜安道. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钨地质年龄[J]. 岩矿测试, 2003, 22(4):254-257.
- Qu Wenjun, Du Andao. Highly precise Re -Os dating of molybdenite by ICP -MS with Carius tube sample digestion [J]. Rock and Mineral Analysis, 2003, 22(4):254-257(in Chinese with English abstract).
- [11] 陈郑辉, 王登红, 屈文俊, 等. 赣南崇义地区淘锡坑钨矿的地质特征与成矿时代[J]. 地质通报, 2006, 25(4):496-501.
- Chen Zhenghui, Wang Denghong, Qu Wenjun, et al. Geological characteristics and mineralization age of the Taoxikeng tungsten deposit in Congyi County, southern Jiangxi Province, China [J]. Geological Bulletin of China, 2006, 25 (4):496-501 (in Chinese with English abstract).
- [12] 李华芹, 刘家齐, 魏林. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用[M]. 北京:地质出版社, 1993:1-126.
- Li Huaqing, Liu Jiaqi, Wei Lin. Study on Geochronology of Fluid Inclusion in Hydrothermal Ore Deposits and Its Geological Applications [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1993:1-126(in Chinese).
- [13] 张文兰, 华仁民, 王汝成, 等. 赣南大吉山花岗岩成岩与钨矿成矿年龄的研究[J]. 地质学报, 2006, 80(7):956-962.
- Zhang Wenlan, Hua Renmin, Wang Rucheng, et al. New dating of the Dajishan granite and related tungsten mineralization in southern Jiangxi[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80(7):956-962(in Chinese with English abstract).
- [14] 李红艳, 毛景文, 孙亚利, 等. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究[J]. 地质论评, 1996, 42(3):261-267.
- Li Hongyan, Mao Jingwen, Sun Yali, et al. Re -Os isotopic chronology of molybdenites in the Shizhuyuan polymetallic tungsten deposit, Southern Hunan[J]. Geological Review, 1996, 42 (3):261-267(in Chinese with English abstract)
- [15] 毛景文, 李晓峰, Lehmann B, 等. 湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地球动力学意义 [J]. 矿床地质, 2004, 23(2):164-175.
- Mao Jingwen, Li Xiaofeng, Lehmann B, et al. Ar-Ar dating of tin ores and related granite in Furong tin orefield, Hunan Province and its geodynamic significance[J]. Mineral Deposits, 2004, 23(2):164-175(in Chinese with English abstract).
- [16] 毛景文, 李红艳, 宋学信, 等. 湖南柿竹园钨锡钼多金属矿床地质与地球化学[M]. 北京:地质出版社, 1998:1-215.
- Mao Jingwen, Li Hongyan, Song Xuexin, et al. Geology and Geochemistry of the Shizhuyuan W -Sn -Mo -Bi Poly -metallic Deposit, Hunan [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1998:1-125(in Chinese with English abstract).
- [17] 刘义茂, 许继峰, 檀模, 等. 骑田岭花岗岩 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄及其地质意义[J]. 中国科学(D 辑), 2002, 32(增刊):40-48.
- Liu Yimao, Xu Jifeng, Dai Tongmo, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ isotopic ages of the Qitianling granite and their geological significance[J]. Science in China(Series D), 2002, 32(Supp.):40-48(in Chinese).
- [18] 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 湖南骑田岭岩体东缘菜岭岩体的锆石 SHRIMP 定年及其意义[J]. 中国地质, 2004, 31(1):96-100.
- Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, et al. Zircon SHRIMP dating of the Cailing granite on the eastern margin of the Qitianling granite, Hunan South China, and its significance [J]. Geology in China, 2004, 31 (1):96-100 (in Chinese with English abstract).
- [19] 朱金初, 张辉, 谢才富, 等. 湖南骑田岭竹视水花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年代学和岩石学 [J]. 高校地质学报, 2005, 11 (3):335-342.
- Zhu Jinchu, Zhanghui, Xie Caifu, et al. Zircon SHRIMP U-Pb geochronology, petrology and geochemistry of the Zhujianshui granite, Qitianling pluton, southern Hunan Province[J]. Geological Journal of China Universities, 2005, 11 (3): 335-342 (in Chinese

- with English abstract).
- [20] 付建明, 李华芹, 屈文俊, 等. 湘南九嶷山大坳钨锡矿的 Re-Os 同位素定年研究[J]. 中国地质, 2007, 34(4):651-656.
Fu Jianming, Li Huaqin, Qu Wenjun, et al. Re-Os isotope dating for the Da'ao tungsten-tin deposit in Jiuyishan area, southern Hunan Province [J]. *Geology in China*, 2007, 34 (4):651-656(in Chinese with English abstract).
- [21] 付建明, 马昌前, 谢才富, 等. 湖南九嶷山复式花岗岩体 SHRIMP 锆石定年及其地质意义 [J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(4):370-378.
Fu Jianming, Ma Changqian, Xie Caifu, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of the Jiuyishan composite granite in Hunan and its geological significance [J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2004, 28 (4):370-378(in Chinese with English abstract).
- [22] Walker R J, Carlson R W, Shirey S B, et al. Os, Sr, Nd, and Pb isotope systematics of southern African peridotite xenoliths: Implications for the chemical evolution of subcontinental mantle[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1989, 53:1583-1595.
- [23] Martin C E, Carlson R W, Shirey S B, et al. Os isotopic variation in basalts from Haleakala Volcano, Maui, Hawaii: a record of magmatic processes in oceanic mantle and crust [J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1994, 128:287-301.
- [24] Hauri E H, Whitehead J A, DePaolo D J. Osmium isotope systematics of drilled lavas from Mauna Loa, Hawaii[J]. *J. Geophys. Res.*, 1996, 101:11793-11806.
- [25] Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H, et al. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W (Mo) deposit in the northern Qinling mountains and its geological significance [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1999, 36:1815-1818.
- [26] Stein H J, Markey R J, Morgan J W, et al. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: how and why it works [J]. *Terra Nova*, 2001, 13:479-486.
- [27] 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.
Hua Renmin, Mao Jingwen. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in East China [J]. *Mineral Deposits*, 1999, 18(4): 300-308(in Chinese with English abstract).
- [28] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用[J]. 矿床地质, 2005, 24(2):99-107.
Hua Renmin, Chen Peirong, Zhang Wenlan, et al. Three major metallogenic events in Mesozoic in South China [J]. *Mineral Deposits*, 2005, 24(2):99-107(in Chinese with English abstract).
- [29] 毛景文, 谢桂清, 李晓峰, 等. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展[J]. 地学前缘, 2004, 11(1):45-55.
Mao Jingwen, Xie Guiqing, Li Xiaofeng, et al. Mesozoic large scale mineralization and multiple lithospheric extension in South China [J]. *Earth Science Frontier*, 2004, 11 (1):45-55 (in Chinese with English abstract).
- [30] Sun W D, Li S G, Chen Y D, et al. Timing of synorogenic granitoids in the South Qinling, central China: Constraints on the evolution of the Qinling-Dabie orogenic belt [J]. *Geol.*, 2002, 110 (4):457-468.
- [31] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 华南中、新生代与花岗岩类有关的成矿系统[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(4):335-343.
Hua Renmin, Chen Peirong, Zhang Wenlan, et al. Ore-forming system in Mesozoic and Cenozoic in South China [J]. *Sci. in China (Series D)*, 2003, 33(4):335-343(in Chinese).
- [32] 柏道远, 黄建中, 刘耀荣, 等. 湘东南及湘粤赣边区中生代地质构造发展框架的厘定[J]. 中国地质, 2005, 32(4):557-570.
Bai Daoyuan, Huang Jianzhong, Liu Yaorong, et al. Framework of Mesozoic tectonic evolution in southeastern Hunan and the Hunan-Guangdong-Jiangxi border area [J]. *Geology in China*, 2005, 32(4): 557-570(in Chinese with English abstract).
- [33] 赵振华, 包志伟, 张伯友, 等. 湘南中生代玄武岩类地球化学特征[J]. 中国科学(D 辑), 1998, 28(增刊):102-112.
Zhao Zhenghua, Bao Zhiwei, Zhang Boyou, et al. Geochemical features of Mesozoic basalts in South Hunan [J]. *Science in China (Series D)*, 1998, 28(Supp.):102-112(in Chinese).
- [34] 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):378-383.
Chen Peirong, Kong Xinggong, Wang Yinxi, et al. Rb-Sr isotope dating and significance of early Yanshanian bimodal volcanic-intrusive complex from South Jiangxi Province [J]. *Geological Journal of China Universities*, 1999, 5(4):378-383(in Chinese with English abstract).
- [35] 章邦桐, 陈培荣, 孔兴功, 等. 赣南临江盆地余田群双峰式火山岩的 Rb-Sr 年代学研究[J]. 中国地质, 2002, 29(4):351-354.
Zhang Bangtong, Chen Peirong, Kong Xinggong, et al. Rb-Sr chronology of bimodal volcanic rocks of the Yutian group in the Linjiang basin, southern Jiangxi [J]. *Geology in China*, 2002, 29(4): 351-354(in Chinese with English abstract).
- [36] 陈培荣, 章邦桐, 孔兴功. 赣南寨背 A 型花岗岩体的地球化学特征及其构造意义[J]. 岩石学报, 1998, 14:289-298.
Chen Peirong, Zhang Bangtong, Kong Xinggong. Geochemical characteristics and tectonic implication of Zgaibei A-type granitic intrusives in South Jiangxi Province [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1998, 14:289-298(in Chinese with English abstract).
- [37] 范春方, 陈培荣. 赣南陂头 A 型花岗岩的地质地球化学特征及其形成构造环境[J]. 地球化学, 2000, 29(4):358-366.
Fan Chunfang, Chen Peirong. Geochemical characteristics and tectonic implication of Beitou A-type granite intrusive in south Jiangxi Province [J]. *Geochimica*, 2000, 29(4):358-366(in Chinese with English abstract).
- [38] Wang Y J, Fan W M, Guo F, et al. U-Pb dating of Mesozoic granodioritic intrusions in southeastern Hunan Province and its petrogenetic implication [J]. *Science in China (Series D)*, 2002, 44 (3):270-280.
- [39] 王德滋, 沈渭洲, 刘昌实, 等. 江西岩背火山侵入杂岩的地球化学特征和成因[J]. 中国科学(D 辑), 1994, 24(5):531-538.
Wang Dezi, Shen Weizhou, Liu Changshi, et al. Geochemical features and origin of volcanic-intrusive complex in Yanbei,

- Jiangxi [J]. Science in China (Series D), 1994, 24 (5):531-538(in Chinese).
- [40] 王登红, 陈毓川, 陈文, 等. 广西南丹大厂超大型锡多金属矿床的成矿时代[J]. 地质学报, 2004, 78(1):132-138.
Wang Denghong, Chen Yuchuan, Chen Wen, et al. Dating the Dachang giant tin-polymetallic deposit in Nandan, Guangxi [J]. Acta Geologica Sinica, 2004, 78 (1):132-138 (in Chinese with English abstract).
- [41] 蔡明海, 梁婷, 吴德成. 广西大厂锡多金属矿田充马矿床地质特征及成矿时代[J]. 地质学报, 2005, 79(2):262-268.
Cai Minhai, Liang Ting, Wu Decheng. Geological characteristics and ore-forming time of the Kangma deposit in the Dachang tin-polymetallic ore field, Guangxi [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79 (2): 262-268(in Chinese with English abstract).
- [42] 李坤英, 沈加林, 王小平. 中国浙闽赣地区造山带陆相火山岩同位素年代学[J]. 地层学杂志, 1989, 13(1):1-13.
Li Kunying, Shen Jialin, Wang Xiaoping. Isotopic geochronology of Mesozoic terrestrial volcanic rocks in the Zhejiang-Fujian-Jiangxi area [J]. Journal of Stratigraphy, 1989, 13 (1):1-13 (in Chinese with English abstract).
- [43] 陈小明, 陆建军, 刘昌实, 等. 桐庐、相山火山侵入杂岩单颗粒锆石定年和成因[J]. 岩石学报, 1999, 15(2):272-278.
Chen Xiaoming, Lu Jianjun, Liu Changshi, et al. Single-grain zircon U-Pb isotopic ages of the volcanic-intrusive complexes in Tonglu and Xiangshan areas [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1999, 15 (2):272-278(in Chinese with English abstract).
- [44] 张德全, 丰成友, 李大新, 等. 福建碧田矿床冰长石的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2003, 22(4):360-364.
Zhang Dequan, Feng Chengyou, Li Daxin, et al. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of adularia from Bitian sericite-adularia type epithermal Ag-Au deposit in Fujian Province and its geological significance [J]. Mineral Deposits, 2003, 22(4):360-364(in Chinese with English abstract).
- [45] 刘晓东, 华仁民. 福建碧田金银铜矿床冰长石的 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年龄[J]. 地质论评, 2005, 51(2):151-155.
Liu Xiaodong, Hua Renmin. ^{40}Ar / ^{39}Ar dating of adularia from the Bitian gold-silver-copper deposit, Fujian Province [J]. Geological Review, 2005, 51(2):151-155(in Chinese with English abstract).

Isotope chronological evidence for Upper Jurassic petrogenesis and mineralization of altered granite-type tungsten deposits in the Zhangtiantang area, southern Jiangxi

FENG Cheng-you¹, FENG Yao-dong², XU Jian-xiang³, ZENG Zai-lin³,
SHE Hong-quan¹, ZHANG De-quan¹, QU Wen-jun⁴, DU An-dao⁴

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

2. No. 3 Geological Survey Party of Henan Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Xinyang 464000, China;

3. Southern Jiangxi Geological Survey Party, Jiangxi Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Ganzhou 341000, China;

4. National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China)

Abstract: Located in the Zhangtiantang area, southern Jiangxi, the recently discovered Yaolanzai deposit is a typical altered granite-type tungsten deposit. Through highly precise dating of the ages of petrogenesis and mineralization of the tungsten deposit, the authors obtained a SHRIMP U-Pb zircon age of 156.9 ± 1.7 Ma ($n=11$, MSWD=3.3) for porphyritic fine-grained muscovite granite and Re-Os model ages of 155.2 ± 2.3 to 156.5 ± 2.1 Ma and an isochron age of 155.8 ± 2.8 Ma ($n=4$, MSWD=0.49) for disseminated molybdenite in ores. According to the above-mentioned ages, combined with the highly precise age data obtained at a regional scale recently, the authors conclude that the tungsten deposits in this area formed in the Upper Jurassic, with their isotopic ages clustering at 150-160 Ma. There is no significant time gap (1-5 Ma) between tungsten mineralization and petrogenesis of its closely related granitoids. The W-Sn mineralization in the area corresponds to the regional-scale Mesozoic second large-scale mineralization in South China.

Key words: altered granite-type tungsten deposit; Late Jurassic petrogenesis and mineralization; U-Pb; Re-Os; zircon; molybdenite; Zhangtiantang; southern Jiangxi Province

About the first author: FENG Cheng-you, male, born in 1971, Ph.D and associate professor, undertakes research on mineral deposits and geochemistry; E-mail: fengchy@yahoo.com.cn.