

DOI: 10.16788/j.hddz.32-1865/P.2020.04.005

引用格式:李海立,肖惠良,陈乐柱,等. 赣南葛藤垌钨钼多金属矿床 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 华东地质, 2020, 41(4): 351-358.

赣南葛藤垌钨钼多金属矿床 Re-Os 同位素年龄及其地质意义

李海立,肖惠良,陈乐柱,范飞鹏

(中国地质调查局南京地质调查中心,南京 210016)

摘要: 葛藤垌钨钼多金属矿床为赣南地区典型的热液石英脉型矿床,矿体主要赋存于燕山期花岗岩中,受 NW 向及近 EW 向断裂带控制。通过对该矿床进行详细的野外地质调查,并对矿体中的 6 个辉钼矿样品进行 Re-Os 同位素测试分析,获得了¹⁸⁷Re-¹⁸⁷Os 等时线年龄为(159.0±0.4) Ma,加权平均年龄为(162±2) Ma(MSWD=1.3),表明该矿床的成矿时代为燕山早期,与赣南区域成矿事件相吻合。Re/Os 值(>4)及¹⁸⁷Re 含量((69.0~625.4)×10⁻⁹)指示矿床成矿物质来源于地壳,为燕山早期第二阶段壳源花岗岩分异演化与岩浆晚期热液共同作用的产物。

关键词: 赣南地区;钨钼矿床;Re-Os 同位素年龄;辉钼矿

中图分类号: P618.67;P618.65

文献标识码: A

文章编号: 2096-1871(2020)04-351-08

赣南地区位于欧亚大陆板块与滨西太平洋板块消减带内侧的华夏板块中,属于武夷山成矿带和南岭成矿带的交汇复合部位^[1-2],矿产资源丰富,是世界著名的钨、锡、钼、银、铜(金)等多金属矿集区,也是中外地质学家关注和研究的热点区域^[3-11]。区内岩浆岩广泛分布,钨钼矿床的形成与该区燕山期花岗岩密切相关^[12]。矿床的成矿母岩岩性主要为富含钨、锡、钼的黑云母花岗岩和二长花岗岩等,为高硅(SiO₂>70%)、高碱((Na₂O+K₂O)>8%)和富挥发分等特征的高分异花岗岩^[13]。

近几十年来,Re-Os 同位素分析逐渐成为研究金属硫化物矿床成矿年代和成矿物质来源的有效手段^[14-16]。因辉钼矿具有较高的 Re 含量而几乎不含普通 Os,其已成为目前应用最广泛的 Re-Os 定年矿物^[17-19],辉钼矿 Re-Os 同位素测年技术也已成为直接测定不同类型钼矿床和含钼矿床成矿年龄的最有效方法^[20-24]。

葛藤垌钨钼多金属矿是该区发现的典型热液石英脉型矿床,精确测定该矿床的成矿时代,对于

正确认识矿床成因和控矿因素、总结区域成矿规律并指导找矿勘探工作具有重要意义^[14]。辉钼矿是葛藤垌矿区的主要矿石矿物之一,辉钼矿与黑钨矿密切共生,其形成时间可以代表矿床的成矿时间。

本文利用辉钼矿 Re-Os 同位素定年法,首次对葛藤垌钨钼多金属矿床的成矿时代进行测试,对矿床的形成时代、成矿物质来源和形成机理进行探讨,并通过与区域其他矿床进行对比研究,阐述其地质意义,为区内成岩成矿年代学格架研究提供新信息,为指导该区找矿勘查提供科学依据。

1 地质背景

1.1 区域地质概况

按照最新成矿区(带)划分方案^[25],赣南地区处于滨西太平洋成矿域(I级)—华南成矿省(II)—南岭成矿带东段中生代钨锡银铅锌稀有稀土金属成矿区(III)—赣南钨锡金属成矿亚区(IV)。中生代以来受滨西太平洋构造域活动影响,区域断裂以

* 收稿日期:2020-04-03 修订日期:2020-08-10 责任编辑:叶海敏

基金项目:中国地质调查局“钦杭成矿带武宁—平江地区钨铜多金属矿地质调查(编号:DD20190153)”项目资助。

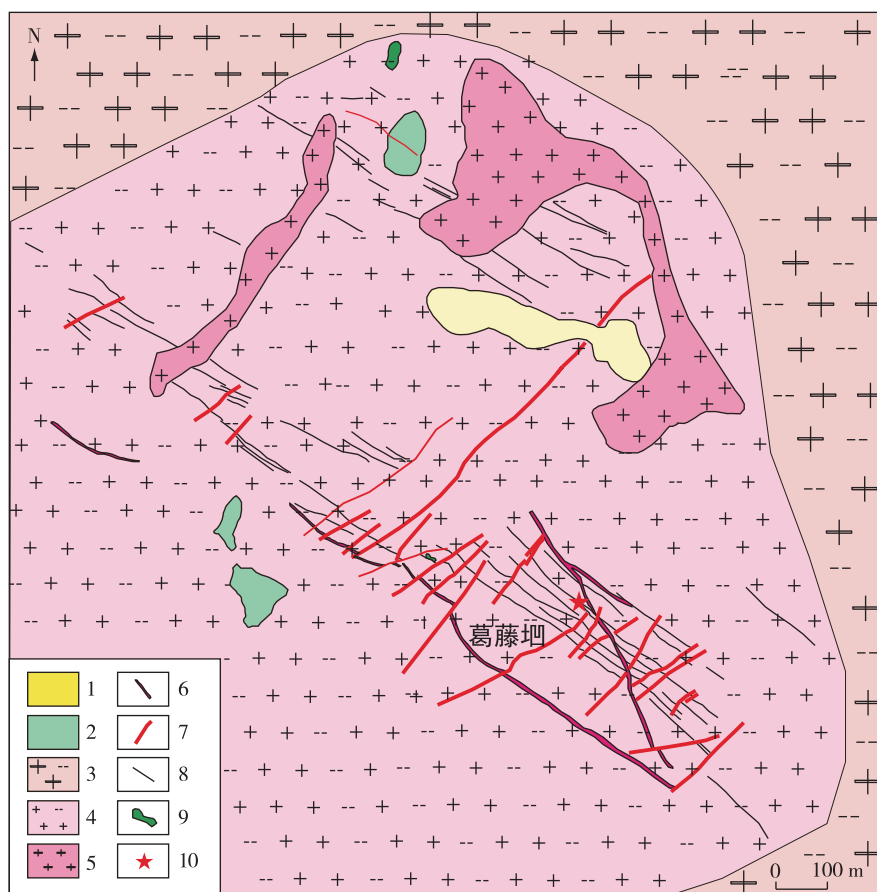
第一作者简介:李海立,1990年生,男,硕士,主要从事矿产资源勘查及矿床地球化学研究工作。Email:njlhaili@163.com。

元素含量呈消长关系。

该区燕山期岩浆活动与内生成矿作用关系十分密切,前人^[26]认为在燕山期岩浆侵入作用后,矿质热液从前期及刚形成的岩体中分异出来,在运移过程中随着物理化学条件的变化,沉淀于岩体裂隙和岩脉附近,晚期岩脉在深部具有尖灭特征。根据该期岩浆岩与成母岩的地球化学特征,矿质与岩体具有一定的继承性,表明了成矿物质来源于燕山期岩浆岩。

1.2 矿区地质特征

葛藤垌矿区出露地层主要为寒武纪变质砂岩,分布面积较小,呈残余岩帽状出露于海拔较高的山脊上,与下伏粗粒似斑状黑云母花岗岩呈侵入接触(图 2)。岩石呈灰黄色(风化色),新鲜面呈浅灰色,致密坚硬,倾向 SE,变质砂状-粉砂状结构,主要矿物为石英、白云母、蚀变长石及绿泥石等,石英含量约 70%,白云母含量约 10%,长石含量约 10%,绿泥石含量约 10%,可见少量褐铁矿及泥质成分。



1. 第四系;2. 寒武纪变质砂岩;3. 粗粒似斑状黑云母花岗岩;4. 细粒黑云母花岗岩;5. 花岗岩斑岩脉;6. 细晶花岗岩脉;7. 断层;8. 含钨钼矿石英脉(矿脉);9. 基性岩脉;10. 辉钼矿采样位置

图 2 葛藤垌矿区地质及采样位置图

Fig. 2 The geological map and sampling location of Getengao Tungsten-Molybdenum deposit

矿区内岩浆岩主要为粗粒似斑状黑云母花岗岩、细粒黑云母花岗岩、花岗斑岩及细晶花岗岩脉等,均为燕山期岩浆活动的产物。粗粒似斑状黑云母花岗岩形成于燕山早期第一阶段,岩石呈灰白色,似斑状结构,斑晶主要由钾长石、斜长石和石英组成,粒径为 $(3 \times 10) \text{ mm} \sim (8 \times 30) \text{ mm}$ 。岩石中

矿物成分为:钾长石($\sim 40\%$),斜长石($\sim 35\%$),石英($\sim 20\%$),黑云母($\sim 5\%$)和少量白云母($< 1\%$),镜下偶见 Nb(Ta)、W、Sn 的独立矿物。燕山早期第二阶段岩体呈岩株或岩瘤状侵入于第一阶段粗粒似斑状黑云母花岗岩(图 2)中,侵入角度一般均较陡,岩性为细粒黑云母花岗岩,由钾长石

(~35%)、斜长石(~30%)、石英(~25%)、黑云母(3%~5%)、白云母(3%~5%)及副矿物(1%~2%)组成,副矿物可见金红石、磷灰石、锆石、萤石、黄铁矿、独居石、电气石等,岩浆期后热液作用和自变质交代作用均较显著,主要发育云英岩化、绿泥石化、绢云母化等蚀变, SiO_2 、 K_2O 和 Na_2O 含量高。钨钼矿化与燕山早期第二阶段花岗岩有紧密联系,是矿区重要的成矿阶段。燕山早期晚阶段为成矿期后岩浆活动,岩性较为复杂,多以花岗岩脉形式产出,主要有细晶花岗岩脉、花岗斑岩脉及少量基性岩脉等,分布于矿区NW向、NNW向及NE向断裂带内,是Nb(Ta)等稀有金属的重要成矿阶段。

区内岩浆岩岩石地球化学特征显示,在燕山早期花岗岩体中W、Sn、Bi、Mo、Nb(Ta)等均出现异常高含量,同时与含钨石英脉中的元素组合基本一致,显示了它们的亲缘关系。

矿区内构造主要有NW向、NE向及近EW向3组断裂,其中NW向断裂控制了矿脉的展布,是主要控矿构造,NE向断裂多切穿矿脉,近EW向断裂为晚期构造活动形成的。

葛藤垭矿区矿化面积约4 km²,产于燕山早期细粒黑云母花岗岩体顶部,脉体以细脉或网脉状充填于由NW向断裂引起的破碎带或裂隙带中,NW向含钨钼裂隙带主要由断裂破碎带中的不规则裂隙和围岩层间裂隙组成,含矿脉体包括含钨钼小脉、石英细脉和石英长石脉等。矿体走向以NW向、NNW向为主,地表倾向N,深部倾向S,倾角

70°~80°,矿化脉带最宽约33 m,走向延长500~1 000 m,倾斜深度300~400 m,最深700 m。含矿石英脉体自上而下逐渐增多,已知矿体的地表部分主要由厚约几毫米至几厘米的平行密集石英细脉夹少许大脉组成,深部细脉增厚,厚度一般为0.1 m以上,最厚可达1.5 m。目前钻孔对工业矿体的控制深度达150~200 m,矿体的深部特点是大脉与细脉互相伴生而呈大脉与细脉的交织带,且具更高的工业价值。

矿体围岩蚀变主要是硅化、电气石化、绢云母化和黄铁矿化,花岗岩中见云英岩化。矿石矿物以黑钨矿、辉钼矿为主,伴生锡石、辉铋矿、黄铜矿、黄铁矿等。 WO_3 含量0.15%~2%,最高含量2.41%,平均含量1.40%,伴生组分有Nb、Ta、Bi、Zn、Sn等。其中Nb、Ta产于黑钨矿中, $(\text{Nb}_2\text{O}_5 + \text{Ta}_2\text{O}_5)$ 含量>1%。

最近勘探成果表明,产于变质岩及沉积岩的钨多金属矿床,其深部有潜伏的花岗岩体存在,并且往往形成规模较大的矿床,例如盘古山钨铋矿、黄沙钨矿床和上坪—南坑山钨矿床等,说明矿床的分布与岩体发育空间具有一致性。

2 样品采集及分析方法

为确定葛藤垭钨钼多金属矿床的成矿时代,对该矿床进行系统野外调查后,在矿区采坑内采集了6个辉钼矿样品用于Re-Os同位素测年,所采样品中辉钼矿呈浸染状、脉状、晶簇状产出于细粒黑云母花岗岩和细晶花岗岩中(图3)。

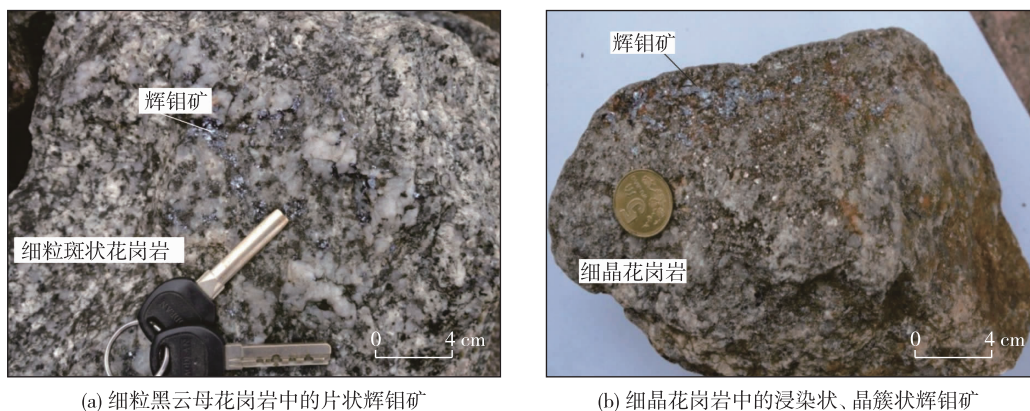


图3 葛藤垭钨钼多金属矿床辉钼矿矿石照片

Fig. 3 Samples of molybdenite in Getengao Tungsten-Molybdenum deposit

Re-Os同位素测年在中国地质科学院国家地质实验测试中心同位素实验室完成,实验仪器为美国

TJA公司生产的电感耦合等离子体质谱仪TJA X-series ICP-MS。Re选择质量数185、187,用190监

测 Os。Os 选择质量数为 186、187、188、189、190、192,用 185 监测 Re。全流程空白 Re 为 3.995×10^{-3} ng,普通 Os 为 0.2×10^{-6} ng, ^{187}Os 为 90×10^{-6} ng,Re、Os 空白远低于样品含量,对测试结果无显著影响。

准确称取 0.1~0.4 g 待测样品加入到 Carius 管中,用 2~3 mL 超纯浓 HCl 把 ^{185}Re 和 ^{190}Os 混合稀释剂转入 Carius 管底部,再依次加入适量浓 HNO_3 和 30% 的 H_2O_2 。用液化石油气和氧气火焰加热封好 Carius 管细颈部分,逐渐升温到 200 °C 保温 24 h 取出。加入超纯水,100 °C 加热 40~60 min,蒸馏分离 Os,所得 OsO_4 水吸收液可直接用于 ICP-MS 测定 Os 同位素比值,将蒸馏残液转入 150 mL Teflon 烧杯中待分离 Re。将蒸馏残液置于电热板上,加热近干,重复 2 次以上,转入 Teflon 离心

管中加入 4~10 mL 丙酮,振荡 1 min 萃取 Re,用滴管直接取上层液体,在电热板上加热除去丙酮,加数滴浓硝酸和 30% 的过氧化氢,用数滴 HNO_3 溶解残渣,用 ICP-MS 测定 Re 同位素比值,最后完成质谱测定。具体实验操作步骤及注意事项参考文献[27-34]。

3 成矿时代

葛藤垌钨钼多金属矿辉钼矿样品 Re-Os 同位素模式年龄测试结果见表 1,辉钼矿 Re-Os 等时线年龄及加权平均年龄见图 4。辉钼矿 Re 含量为 $(109.8 \sim 995.0) \times 10^{-9}$,Os 含量为 $(0.014 \sim 0.117) \times 10^{-9}$;放射性 ^{187}Re 含量为 $(69.0 \sim 625.4) \times 10^{-9}$, ^{187}Os 含量为 $(0.191 \sim 1.670) \times 10^{-9}$ 。辉钼矿模式年龄集中于 159.6~165.6 Ma,在误差范围内一致,代表了葛藤垌钨钼多金属矿的成矿年龄。

表 1 葛藤垌钨钼多金属矿 Re-Os 同位素模式年龄测试结果

Table 1 Re-Os dating results of molybdenite samples from the Getengao Tungsten-Molybdenum deposit

样品编号	重量/g	Re/ 10^{-9}	Os/ 10^{-9}	$^{187}\text{Re}/10^{-9}$	$^{187}\text{Os}/10^{-9}$	模式年龄/Ma
D012-2TW	0.300 20	783.3 \pm 6.3	0.117 0 \pm 0.020 2	492.3 \pm 4.0	1.311 \pm 0.014	159.6 \pm 2.6
D012-3TW	0.300 76	514.1 \pm 3.7	0.041 3 \pm 0.003 3	323.2 \pm 2.3	0.865 \pm 0.006	160.5 \pm 2.3
D012-4TW	0.300 00	178.9 \pm 1.2	0.014 9 \pm 0.001 4	112.5 \pm 0.7	0.310 \pm 0.002	165.3 \pm 2.2
D012-5TW	0.300 69	109.8 \pm 0.7	0.038 9 \pm 0.007 9	69.0 \pm 0.5	0.191 \pm 0.002	165.6 \pm 2.4
D012-6TW	0.300 81	282.1 \pm 2.1	0.059 8 \pm 0.015 9	177.3 \pm 1.3	0.478 \pm 0.005	161.5 \pm 2.5
D012-7TW	0.300 47	995.0 \pm 9.6	0.024 8 \pm 0.007 7	625.4 \pm 6.0	1.670 \pm 0.012	160.0 \pm 2.5

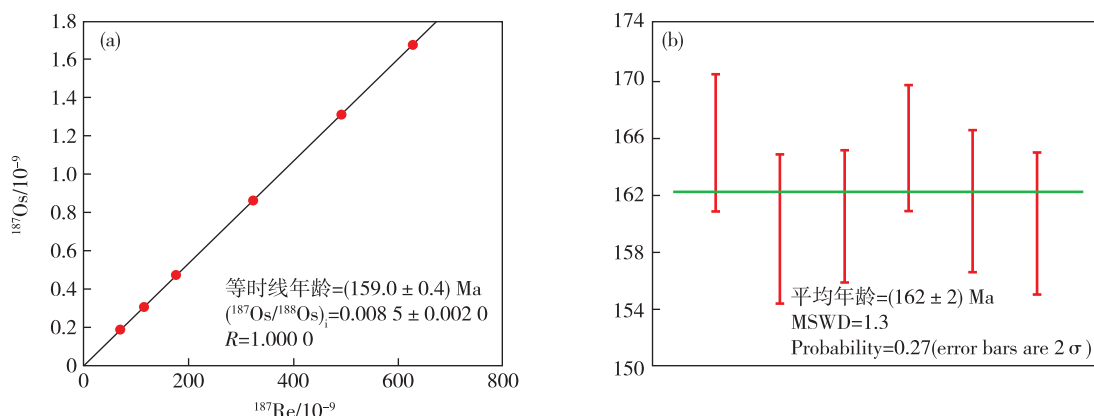


图 4 辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄(a)及同位素加权平均年龄(b)图

Fig. 4 Re-Os isochron age diagram(a) and weighted average ages diagram(b) of molybdenite

6 件辉钼矿样品的 Re 总含量、 ^{187}Re 和 ^{187}Os 含量差距不大(在同一数量级范围内),且模式年龄值也相近。利用 Isotope19.0 软件^[35]对数据进行了等时线拟合,获得等时线年龄为 (159.0 ± 0.4) Ma,加权平均年龄为 (162 ± 2) Ma,MSWD=1.3(图 4)。

等时线年龄、加权平均年龄及模式年龄结果一致,因此 Re-Os 等时线年龄 (159.0 ± 0.4) Ma 能够代表该矿床的成矿年龄,该年龄为葛藤垌钨钼多金属矿床提供了准确的形成时限,即燕山早期第二阶段。

4 讨论

4.1 成矿物质来源

由于辉钼矿 Re-Os 同位素体系封闭性好,受后期改造影响弱,不仅可以直接准确测定成矿年龄,且 Re-Os 体系是硫化物矿床形成的有力示踪剂^[36]。由于 Os 是高度相容元素,而 Re 是中度不相容元素^[37],导致地幔与地壳的 Re/Os 值存在较大差异,地幔 Re/Os 值 <0.13 ,地壳 Re/Os 值 >1 ,而大陆地壳 Re/Os 值 >4 ^[20]。本文 Re/Os 值远 >4 ,指示其成矿物质来源于大陆地壳。MAO J W 等^[14]通过对比部分辉钼矿 Re 含量,认为从幔源、壳幔混源到壳源,Re 含量依次递降 1 个数量级。葛藤垵矿床辉钼矿 Re 含量为 $(109.8\sim995.0)\times10^{-9}$,指示了其成矿物质来源于壳源,而矿床形成于燕山期岩体,这与区内大规模分布的高分异花岗岩^[12]具有时空吻合性。

此外,花岗岩分异演化与钨钼多金属矿成矿关系密切^[12,38],前人对大埠岩体进行了岩石化学研究,其特征表现为高硅富碱,贫铁、镁、钙,总体属亚碱性系列高分异花岗岩。SiO₂ 含量与 TiO₂、Al₂O₃、FeO、CaO、MgO 含量呈负相关,岩浆向富钾,贫铁、钠演化。在原始地幔标准化微量元素蛛网图(图略)上,岩体富集 Rb、U、Zr、Hf、La,有明显的 Ba、Nb、Sr、P、Ti 和 Eu 亏损,显示了较强的结晶分异作用。球粒陨石标准化稀土元素配分曲线为右缓倾的“海鸥”型,轻稀土元素相对富集型,具中等-强负 Eu 异常, $\delta\text{Eu}<0.61$,表明该区岩浆为上地壳部分熔融形成的,可能为矿床的形成提供了丰富的成矿物质。

从葛藤垵钨钼多金属矿床矿脉围岩、控矿构造、

成矿物质来源、围岩蚀变以及矿脉的赋存状态看,该矿床形成与岩浆侵位同时发生^[26],在造岩矿物的结晶和挥发组分向上运移和富集过程中,岩浆完成了从熔体逐渐向熔体-溶液和汽化的过渡。随着温度、压力的降低,矿石矿物主要在岩浆晚期分异阶段伴随长石和石英晶出,或通过交代早结晶造岩矿物的方式晶出^[39],逐渐富集形成钨钼多金属矿床。

4.2 区域成岩成矿特征

近年来,对南岭地区各类型矿床成矿时代及成矿规律的研究不断深入,毛景文等^[12]认为区内金属矿床成矿作用时间主要集中在 170~150 Ma、140~126 Ma 和 110~80 Ma。赣南地区中生代成矿作用的最大特点是绝大多数 W、Sn、Mo 多金属矿化的形成与花岗质岩浆活动关系密切,且多形成于燕山早期。葛藤垵钨钼多金属矿床成矿时代与此次成矿事件吻合,成矿背景为 165~150 Ma 的华南岩石圈伸展-岩浆活动-大规模成矿的动力学环境^[13,40]。

研究区及其邻近矿床的成岩成矿、年龄统计结果(表 2)表明,该区成岩、成矿年龄时限为 151~161 Ma,均属燕山早期成矿事件。近年来,关于赣南地区燕山期成岩成矿的时差问题,一些学者认为成岩成矿作用同时进行,几乎没有时间差,分析结果略有差异是由于花岗岩成岩成矿经历了岩浆冷凝、挥发分聚集、热液运移及金属矿物沉淀等过程。因此,笔者推测葛藤垵钨钼矿成矿作用发生于粗粒黑云母花岗岩形成后的岩浆分异演化阶段,与细粒黑云母花岗岩同时形成,是岩浆及期后热液共同作用的结果,矿床成矿物质可能与燕山期壳源型高分异花岗岩有直接的成因关系。

表 2 葛藤垵矿区及其附近矿床的成岩成矿年龄统计结果

Table 2 Statistics of diagenesis and mineralization ages of Getengao and adjacent deposits

矿床名称	测试对象	测试方法	成矿年龄/Ma	参考文献
葛藤垵钨钼矿床	辉钼矿	Re-Os	159.0±0.4	本文
大吉山钨矿床	与黑钨矿共生的云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	151.7±1.6	[41]
漂塘钨矿床	白云母	⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	158.9±1.4	[42]
淘锡坑钨矿床	花岗岩中的锆石	SHRIMP	157.6±3.5	[43]
崇美山钨矿床	黑云母花岗岩中的锆石	SHRIMP	157.7±2.7	[44]
	黑钨矿石英脉中的辉钼矿	Re-Os	153.7±1.5	
张家地钨钼矿床	辉钼矿	Re-Os	158.4±3.1	[45]
	隐伏花岗岩体中的锆石	LA-ICP-MS	161.7±1.6	
盘古山钨矿床	石英脉辉钼矿	Re-Os	155.3±2.8	[6]

5 结论

(1)赣南葛藤垌钨钼多金属矿床 Re-Os 同位素等时线年龄为 (159.0 ± 0.4) Ma, 加权平均年龄为 (162 ± 2) Ma, 形成于燕山运动早期。

(2)葛藤垌矿床的成矿物质主要来源于地壳, 是该区燕山期黑云母花岗岩高分异演化及期后热液共同作用的产物。

参考文献

- [1] 丰成友, 王松, 曾载淋, 等. 赣南八仙脑破碎带型钨钼多金属矿床成矿流体和年代学研究[J]. 岩石学报, 2012, 28(1): 52-64.
- [2] 丰成友, 曾载淋, 屈文俊, 等. 赣南钨矿成矿年代学及成岩成矿时差讨论[J]. 矿床地质, 2010, 29(增刊): 431-432.
- [3] 刘翠辉, 杨斌, 陈郑辉, 等. 赣南兴国县张家地钨多金属矿床 U-Pb 和 Re-Os 同位素定年: 对成岩成矿时代的限定[J]. 中国地质, 2020, 47(1): 258-260.
- [4] 杨世文, 丰成友, 楼法生, 等. 赣南隆坪萤石矿床成矿时代及成因初探: 来自萤石 Sm-Nd 测年及黑云母电子探针的证据[J]. 高校地质学报, 2019, 25(3): 341-351.
- [5] 刘永超, 李建康, 赵正, 等. 赣南淘锡坑钨矿床云英岩中含 CO₂ 包裹体的发现及意义[J]. 地质学报, 2019, 93(3): 701-711.
- [6] 方贵聪, 陈毓川, 陈郑辉, 等. 赣南盘古山钨矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其意义[J]. 地球学报, 2014, 35(1): 76-84.
- [7] 杨瑞栋, 童日发, 邵伟江, 等. 赣南兴国旋卷构造区寻找富大矿床的思考[J]. 矿产勘查, 2013, 4(2): 121-130.
- [8] 黄品赞, 汪相, 陈洁, 等. 赣南淘锡坑锡矿床中锡石晶体形态学和地球化学研究[J]. 地质论评, 2012, 58(5): 987-1000.
- [9] 魏文凤, 胡瑞忠, 彭建堂, 等. 赣南西华山钨矿床的流体混合作用: 基于 H、O 同位素模拟分析[J]. 地球化学, 2011, 40(1): 45-55.
- [10] 陈祥. 赣南黄沙脉状钨矿床容矿断裂构造系统成因探讨[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2007.
- [11] 李惠, 刘运正, 何厚强, 等. 赣南脉钨矿床的某些地球化学特征及地球化学找矿标志[J]. 地质与勘探, 1987, 23(7): 46-53.
- [12] 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: 成矿时限及地球动力学背景[J]. 岩石学报, 2007, 23(10): 2327-2338.
- [13] 陈骏, 陆建军, 陈卫锋, 等. 南岭地区钨锡铌钽花岗岩及其成矿作用[J]. 高校地质学报, 2008, 14(4): 459-473.
- [14] 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 Qilian mountains and its geological significance[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1999, 63(11): 1815-1818.
- [15] 蒋少涌, 杨竞红, 赵葵东, 等. 金属矿床 Re-Os 同位素示踪与定年研究[J]. 南京大学学报(自然科学版), 2000, 36(6): 669-677.
- [16] 杜安道, 屈文俊, 李超, 等. 铼-钨同位素定年方法及分析测试技术的进展[J]. 岩矿测试, 2009, 28(3): 288-304.
- [17] 谢桂青, 毛景文, 李瑞玲, 等. 鄂东南地区 Cu-Au-Mo-(W)矿床的成矿时代及其成矿地球动力学背景探讨: 辉钼矿 Re-Os 同位素年龄[J]. 矿床地质, 2006, 25(1): 43-52.
- [18] 李海立, 肖惠良, 范飞鹏, 等. 广东潮安飞鹅山钨钼多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素定年[J]. 地质学报, 2016, 90(2): 231-239.
- [19] 丰成友, 张德全, 项新葵, 等. 赣西北大湖塘钨矿床辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其意义[J]. 岩石学报, 2012, 28(12): 3858-3868.
- [20] DU A D, QU W J, LI C, et al. A Review on the Development of Re-Os Isotopic Dating Methods and Techniques[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 2009, 28(3): 288-304.
- [21] LI Y F, MAO J W, GUO B J, et al. Re-Os Dating of Molybdenite from the Nannihu Mo (~W) Orefield in the East Qinling and Its Geodynamic Significance [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2004 (2): 463-470.
- [22] 陈宣华, 屈文俊, 韩淑琴, 等. 巴尔喀什成矿带 Cu-Mo-W 矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄测定及其地质意义[J]. 地质学报, 2010, 84(9): 1333-1348.
- [23] 郭春丽, 李超, 伍式崇, 等. 湘东南锡田辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试, 2014, 33(1): 142-152.
- [24] 孟祥金, 徐文艺, 吕庆田, 等. 安徽沙坪沟斑岩钨钼矿锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄[J]. 地质学报, 2012, 86(3): 486-494.
- [25] 陈毓川, 朱裕生, 肖克炎, 等. 中国成矿区(带)的划分[J]. 矿床地质, 2006, 25(增刊): 1-6.
- [26] 江西省重工业局. 于都幅(1:200 000)区域地质矿产调查报告书[R]. 南京: 中国地质调查局南京地质调查中心, 1969: 31-44.
- [27] 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]. *Geostandard and Geoanalytical Research*, 2004, 28 (1): 41-52.
- [28] DU A D, YIN N W, SUN Y L, et al. Direct Dating of Molybdenites Using the Re-Os Geochronometer [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1993, 38(15): 1319-1320.
- [29] 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 等. 辉钼矿的铼-钨同位素

- 地质年龄测定方法研究[J]. 地质学报 1994, 68(4): 339-347.
- [30] 李超, 屈文俊, 杜安道, 等. 铼、钨同位素定年法中丙酮萃取铼的系统研究[J]. 岩矿测试, 2009, 28(3): 233-238.
- [31] 李超, 屈文俊, 周利敏, 等. Carius 管直接蒸馏快速分离钨方法研究[J]. 岩矿测试, 2010, 29(1): 14-16.
- [32] 屈文俊, 杜安道, 李超, 等. 金川铜镍硫化物样品中钨同位素比值的高精度分析[J]. 岩矿测试, 2009, 28(3): 219-222.
- [33] 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.
- [34] 周利敏, 高炳宇, 王礼兵, 等. Carius 管直接蒸馏快速分离钨方法的改进[J]. 岩矿测试, 2012, 31(3): 413-418.
- [35] LUDWIG K. Isoplot/Ex, version 2.0: a geochronological toolkit for Microsoft Excel [M]. Geochronology Center, 2009.
- [36] FOSTER J G, FRICK L R, MASS R, et al. Re-Os isotopic evidence for genesis of Archaean nickel ores from uncontaminated komatiites [J]. Nature, 1996, 382(6593): 703-706.
- [37] SHIREY S B, WALKER R J. The Re-Os isotope system in cosmochemistry and high-temperature geochemistry [J]. Annual Review of Earth & Planetary Sciences, 1998, 26(1): 423-500.
- [38] 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(3): 261-267.
- [39] 肖惠良, 陈乐柱, 鲍晓明, 等. 广东始兴地区钨锡多金属矿找矿实践与探索[J]. 高校地质学报, 2013, 19(2): 213-219.
- [40] 华仁民, 陈培荣, 张文兰, 等. 论华南地区中生代三次大规模成矿作用[J]. 矿床地质, 2005, 24(2): 99-107.
- [41] 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.
- [42] 刘善宝, 王登红, 陈毓川, 等. 赣南崇义一大余—上犹矿集区不同类型含矿石英中白云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2008, 82(7): 932-940.
- [43] 郭春丽, 王登红, 陈毓川, 等. 赣南中生代淘锡坑钨矿区花岗岩锆石 SHRIMP 年龄及石英脉 Rb-Sr 年龄测定[J]. 矿床地质, 2007, 26(4): 432-442.
- [44] 李丽侠, 陈郑辉, 施光海, 等. 江西岿美山钨矿床的成矿年龄及地质特征[J]. 岩矿测试, 2014, 33(2): 287-295.
- [45] 丰成友, 曾载淋, 屈文俊, 等. 赣南兴国县张家地钨矿床成岩成矿时代及地质意义[J]. 岩石学报, 2015, 31(3): 709-724.

Re-Os isotope age of Getengao Tungsten-Molybdenum polymetallic deposit, Southern Jiangxi Province and its geological significance

LI Hai-li, XIAO Hui-liang, CHEN Le-zhu, FAN Fei-peng
(Nanjing Center, China Geological Survey, Nanjing 210016, China)

Abstract: The Getengao Tungsten-Molybdenum polymetallic deposit in southern Jiangxi Province is a typical hydrothermal quartz vein type deposit. The ore bodies of Getengao deposit are mainly occurred in the Yanshanian granite and controlled by NW and EW striking faults. In this paper, the Re-Os isotopic dating of six molybdenite samples which collected from the main ore body in Getengao deposit was carried out. the results yield a ^{187}Re - ^{187}Os isochron age of (159.0 ± 0.4) Ma, with a weighted average age of (162 ± 2) Ma ($\text{MSWD}=1.3$), representing the mineralization age is early Yanshan Period, which is concurrent with the regional metallogenic events. The high Re/Os ratio (>4) and low ^{187}Re content ($(69.0 \sim 625.4) \times 10^{-9}$) indicate that the metallogenic material was derived from the crust. We suggest that the formation of the deposit is genetically related to the interaction between differentiation and evolution of the crustal-derived granites of the second stage Yanshanian and the hydrothermal process of the granites during lithosphere extension in South China.

Key words: Southern Jiangxi Province; Tungsten-Molybdenum deposit; Re-Os isotope age; molybdenite