

江西省武功山地区浒坑钨矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义

刘珺^{1,2,3)}, 叶会寿²⁾, 谢桂青²⁾, 杨国强³⁾, 章伟³⁾

1) 安徽建筑工业学院土木工程学院, 合肥, 230022; 2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037;

3) 中国地质大学(北京), 北京, 100083

内容提要: 浒坑钨矿床是位于江西省中部武功山成矿带的大型石英脉型黑钨矿床。为了确定该矿床的成矿时代, 笔者选取了浒坑含钨石英脉中与黑钨矿共生的辉钼矿进行了高精度 Re-Os 同位素定年, 并获得 5 个辉钼矿样品的 Re-Os 等时线年龄和模式加权平均年龄分别为 150.2 ± 2.2 Ma 和 149.82 ± 0.92 Ma。测年数据表明浒坑钨矿床的成矿时代为 150 Ma 左右, 是华南地区中生代大规模成岩成矿作用高峰期的产物。辉钼矿含铼较低, 表明成矿物质可能为地壳来源, 与形成浒坑花岗岩体的燕山期重熔 S 型花岗岩岩浆活动有关。该矿床形成于燕山期岩石圈伸展减薄环境。

关键词: 辉钼矿; Re-Os 测年; 钨矿床; 浒坑; 含钨石英脉; 武功山地区

江西钨矿资源极为丰富, 赣南有“世界钨都”之称。自 20 世纪 20 年代到 80 年代, 国内外许多地质学家都集中对赣南钨矿做过考察和研究(翁文灏, 1920; 谢家荣, 1936; 徐克勤和丁益, 1943; 严坤元, 1946; 黄汲清, 1954; 徐克勤和刘英俊, 1960; 莫柱孙等, 1980; Mackee et al., 1987; Maruéjol et al., 1990)。近年来, 随着高精度测年技术的发展, 又进一步确定了赣南钨矿床的成矿时代, 如李华芹等(1993)利用石英中流体包裹体进行 Rb-Sr 等时线测年, 获得漂塘钨锡矿床成矿年龄为 150.2 ± 1.4 Ma, 大吉山钨矿的石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为 150.4 ± 8 Ma; 张文兰等(2006)获得大吉山钨矿白云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄分别为 144.4 ± 0.5 Ma 和 147.2 ± 0.6 Ma; 陈郑辉等(2006)用 Re-Os 法测得淘锡坑含石英脉中辉钼矿的 Re-Os 等时线年龄为 154.4 ± 3.8 Ma; Yuan 等(2007, 2008)测得香花岭锡多金属矿床白云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 等时线年龄为 151.9 ± 3.0 Ma, 锡石 U-Pb 年龄为 $156 \sim 157$ Ma; 郭春雨等(2007)获得淘锡坑石英中流体包裹体的 Rb-Sr 等时线年龄分别为 153.7 ± 3.6 Ma, 157.1 ± 2.9 Ma 和 161.0 ± 3.7 Ma。

浒坑钨矿床是赣中武功山钨、铜、铋、钼多金

属成矿带的重要组成部分, 为大型石英脉型钨矿床, 产于浒坑花岗岩体中, 该岩体的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄为 151.6 ± 2.6 Ma(刘珺等, 2008)。由于受矿山开放程度和开发阶段的制约以及其他原因, 外界对其研究的很少, 没有关于成矿的年龄数据。为了精确厘定成矿事件的时间, 进而探讨成岩成矿之间的关系。本文对采自浒坑钨矿床含钨石英脉中的辉钼矿样品进行了 Re-Os 同位素年龄测定, 获得了该矿床的高精度年龄, 并结合前人资料, 尝试探讨该矿床的成矿物质来源和动力学背景。

1 地质背景

武功山成矿带位于华南加里东褶皱带中段北缘(汤加富等, 1991; Shu et al., 1996), 新元古代华南与扬子两个大陆板块的碰撞缝合带(周新民和朱云鹤, 1993; 陆松年, 1998)即绍兴—江山—东乡—萍乡断裂的南侧, 赣江断裂的西侧。带内发育有武功山、明月山、浒坑等钨矿床以及 414 钽(铌)—铀型矿床(雅山)等稀有多金属矿床。浒坑钨矿床则产于该带中武功山复式背斜东南翼燕山期的浒坑花岗岩株南缘(图 1), 总矿化面积大于 6 km^2 。

注: 本文为国家重点基础研究发展计划(973)计划(编号 2007CB411407)、国土资源大调查项目(编号 1212010634001)和全国危机矿山接替资源找矿项目专题(编号 200636028)资助的成果。

收稿日期: 2008-07-12; 改回日期: 2008-09-03; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 刘珺, 女, 1978 年生。博士, 岩石学、矿物学、矿床学专业。Email: fzel@tom.com。

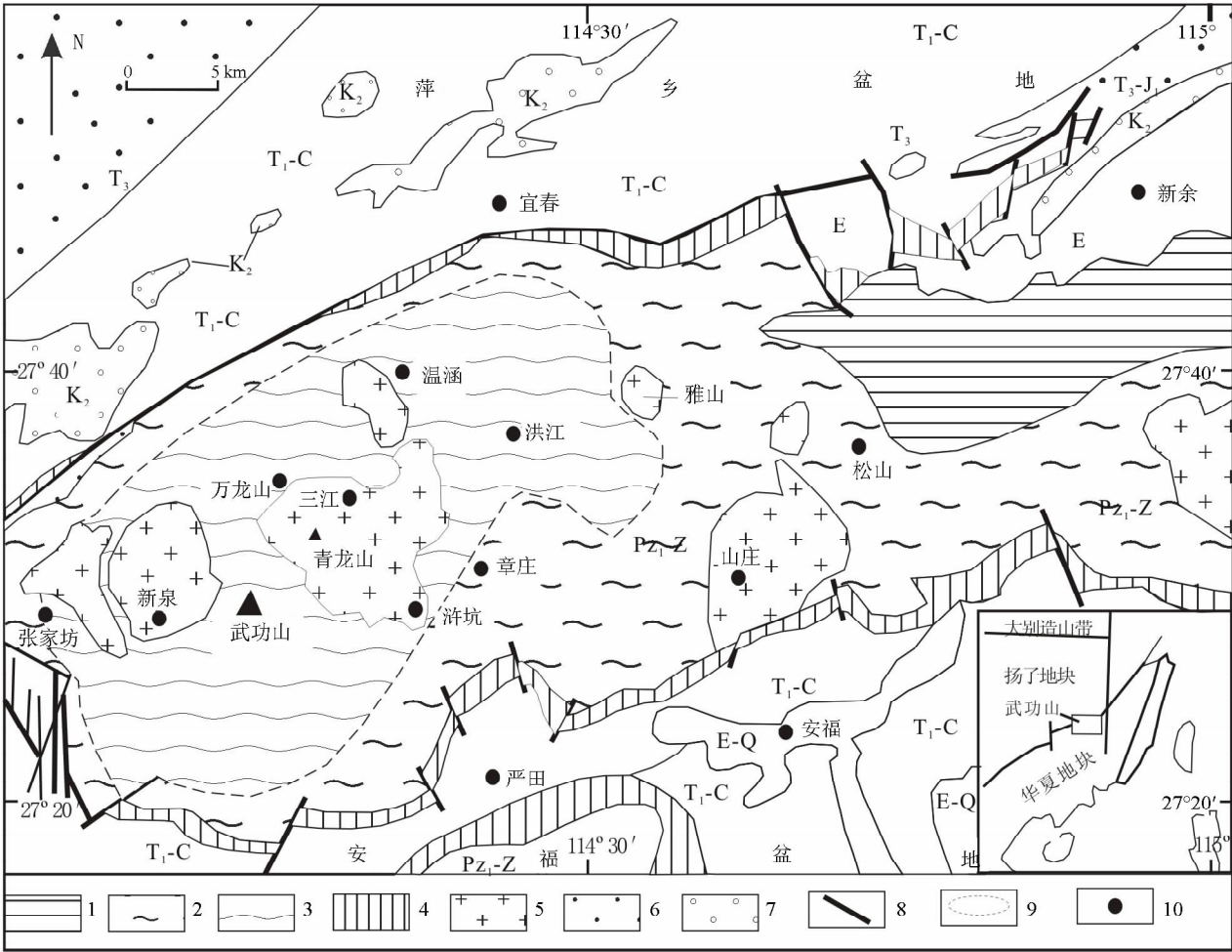


图 1 江西省武功山地区地质简图(据舒良树等,1998,有修改)

Fig. 1 Simplified geological map of the Wugongshan area, Jiangxi Province (Modified from Shu et al. , 1998)

1—片岩;2—板岩、千枚岩;3—片麻岩和花岗片麻岩;4—泥盆系石英岩、石英砂岩;5—中生代花岗岩;6—粗碎屑岩;7—红层;8—大型拆离断层(已被后期断裂切割);9—变质核杂岩边界;10—钨矿床(矿点);Q-E—第三系、第四系;E—第三系;K₂—上白垩统红层;T₃-J₁—上三叠统下侏罗统碎屑岩;T₃—上三叠统;T₁-C—石炭系—下三叠统沉积岩;Pz₁-Z—变质变形的震旦系—下古生界岩石

1—schist; 2—slate, phyllite; 3—gneiss and granite gneiss; 4—Devonian quartzite, quartz sandstone; 5—Mesozoic granite; 6—coarse clastic rocks; 7—red beds; 8—large scale detachment fault (being cut by latter fracture); 9—boundary of metamorphic core complexes; 10—tungsten deposit (ore spot); Q-E—Tertiary system, Quaternary system; E—Tertiary system; K₂—Upper Cretaceous red beds; T₃-J₁—Upper Triassic-Lower Jurassic clastic rocks; T₃—Upper Triassic; T₁-C—Carboniferous-Lower Triassic sedimentary rocks; Pz₁-Z—deformed and metamorphic Sinian-Lower Paleozoic rocks

2 矿床地质特征

区内主要出露震旦系老虎塘组和里坑组(图 2),为一套泥砂质夹钙硅质的浅变质岩,主要岩性有云母片岩、云母石英片岩、千枚状石英片岩、斑状石英砂岩、片麻岩、变粒岩和混合岩等。岩层产状较平缓,总体倾向 S-SE、倾角 25°~40°。这套变质岩系在岩浆的热力作用下,原岩的外貌、矿物成分和结构构造发生了不同程度的变化,在浒坑花岗岩体周围形成一个比较明显的热变质晕圈,具有特征的角岩化。从接触面往外,可将热变质晕圈划分为两个蚀

变带(图 3),即强角岩带及弱角岩带,角岩带宽度为 70~100 m。

区内花岗岩为白云母花岗岩,从边缘到过渡带再至内部带依次为细粒白云母花岗岩—中-中细粒白云母花岗岩—中粗粒白云母花岗岩(图 3)。含钨石英脉主要分布在过渡带的中-中细粒白云母花岗岩中,该部位的岩石呈灰至灰白色,粒状结构,致密块状构造,主要组成矿物为石英、钾长石、斜长石、白云母等,石英含量一般为 25%~30%、钾长石 35%~40%、斜长石 20%~35%、白云母 5%~10%,发育一定程度的钠长石化。在深部(50 米标高以下),

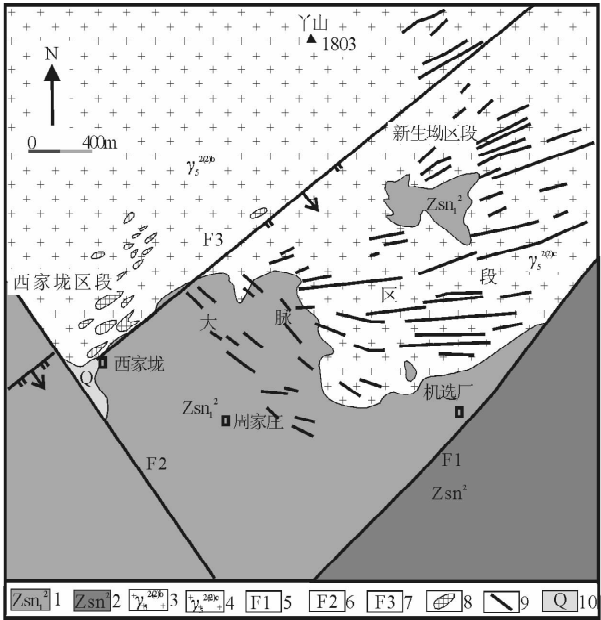


图 2 浒坑钨矿床地质略图(据秦建云等,2005^①)

Fig. 2 The Schematic geological map of the Hukeng tungsten deposit (after Qin et al. , 2005)

- 1—老虎塘组绢云母千枚岩;2—里坑组绢云母千枚岩;3—燕山早期第二次侵入白云母花岗岩;4—燕山早期第三次白云母花岗岩;5—浒—章断裂;6—浒—西断裂;7—西—丫断裂;8—网脉状矿体;9—含钨石英脉;10—第四系
- 1—Laohutang formation sericite phyllite; 2—Likeng formation sericite phyllite; 3—the second muscovite granite of early Yanshanian; 4—the third muscovite granite of early Yanshanian; 5—Hukeng-Zhanghuang fault; 6—Hukeng-Xijialong fault; 7—Xijialong-Yashan fault; 8—stockwerke orebody; 9—tungsten-bearing quartz vein; 10—Quaternary

又有一期细粒白云母花岗岩侵入浒坑主体花岗岩中(图 3),大致呈东西向延展,自东向西呈分枝状,向东或南东方向侧伏,平面形态呈椭圆状;岩石呈灰至灰白色,细粒结构、块状构造,局部显示微弱的定向构造;组成矿物主要是石英、钾长石和白云母,局部可见石榴子石、萤石、黄铁矿和碳酸盐矿物。含石英 30%~35%,钾长石 30%~40%,斜长石 25%~34%,白云母 3%~4%。矿物粒径一般为 0.1~2mm;岩石具硅化、云英岩化。

区内断裂构造大体上有二组(图 2):北东向主干断裂有浒—章断裂(F₁)和西—丫断裂(F₃),走向北东 30°,倾向南东,倾角 65°~88°,走向延长大于 10 km,宽 20~30 m,认为由硅化角砾岩、糜棱岩组成,属平推正断层(朱炎龄等,1981);北西向主干断裂有浒—西断裂(F₂),产状 210°~225°∠60°~80°,长大于 3km。由硅化角砾岩、糜棱岩组成,从矿区地质图可判断为右旋走滑。矿床的成矿构造主要受

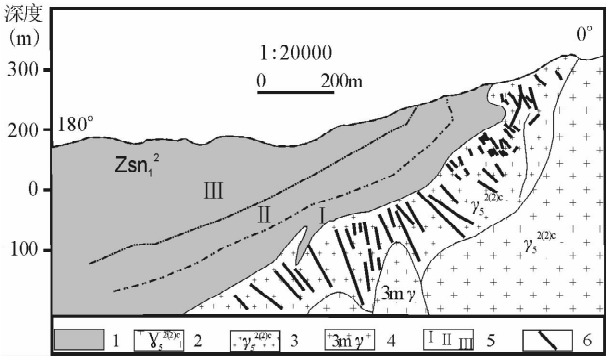


图 3 浒坑矿床热变质带分布示意图
(据秦建云等,2005^①)

Fig. 3 The sketch map for the distribution of thermal metamorphic zones of the Hukeng tungsten deposit (after Qin et al. , 2005)

- 1—老虎塘组绢云母千枚岩;2—白云母花岗岩中心相;3—白云母花岗岩边缘相;4—细粒白云母花岗岩;5—I 强角岩化带,II 弱角岩化带,III 原岩带;6—含钨石英脉
- 1—Laohutang formation sericite phyllite; 2—central facies of muscovite granite; 3—marginal facies of muscovite granite; 4—fine-grained muscovite granite; 5—I strong hornfelsed zone, II weak hornfelsed zone, III protolith zone; 6—tungsten-bearing quartz vein

区域北东向和东西向构造线的控制。

浒坑钨矿主要由三个矿段组成,分别为西家垅区段、新生坳区段和大脉区段(图 2),其中西家垅区段为石英网脉型,新生坳区段和大脉区段为石英大脉型。新生坳区和西家垅区因资源枯竭已停产多年,目前矿山生产主要集中在大脉区的 140、90、40、-10、-60 中段,其中 140 中段已停采掘只出前期矿,90 中段已接近尾声,40、-10 中段以回采为主,-60 中段以生产勘探为主。

矿脉富集于花岗岩外凸于变质岩的部位和构造有利地带。按其产状特征可分为东西组,北西组及北东组三组。正在开采的代表性矿脉有 G28、I13 和 L13。

金属矿物主要有黑钨矿、闪锌矿、辉铋矿、黄铁矿。矿石结构为针状、浸染状。矿石构造为条带状、块状、浸染状等。非金属矿物为石英、长石、白云母、萤石、方解石等。矿石的有益组分以钨为主,伴生有锌、铋等。有害组分以钙、硅、硫为主。

3 辉钼矿 Re-Os 同位素测年

用于 Re-Os 同位素测年的 5 件样品均采浒坑含钨石英脉。样品 G28-01 采自-10 中段的 G28 矿脉,辉钼矿呈浸染状与黑钨矿一起产出;样品 I13-23

和 G28-61 分别产出于一 10 中段的矿脉 I13 和 G28 中,辉钼矿以薄层状产出;样品 L13-18 采自 40 中段 L13 矿脉,其中的辉钼矿呈致密块状和黄铜矿一起产出;样品 I13 来自一 60 中段,辉钼矿呈条带状和黄铁矿以及黄铜矿一起产出。以上 5 个样品中辉钼矿单矿物的挑选是在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成,每件样品的纯度均大于 99%。辉钼矿样品 Re-Os 同位素测试工作在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室由屈文俊完成。分析方法及程序详见 Shirey 等(1995)和 Du 等(2004),现简述如下。

3.1 分解样品

准确称取待分析样品,通过长细颈漏斗加入到 Carius 管(一种高硼厚壁大玻璃安瓿瓶)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℃。将装好样的 Carius 管放入该保温杯中,通过长细颈漏斗把准确称取的¹⁸⁵Re 和¹⁹⁰Os 混合稀释剂加入到 Carius 管底部,再加入 2mL 10 mol/L HCl,4mL 16 mol/L HNO₃、1mL30% H₂O₂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。轻轻放套管入鼓风烘箱内,待回到室温后,逐渐升温到 200℃,保温 24h。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。

3.2 蒸馏分离钼

于 105~110℃蒸馏 50 min,用 10 mL 水吸收蒸出的 OsO₄。用于 ICPMS(等离子体质谱仪)测定 Os 同位素比值。将蒸馏残液倒入 150 mL Teflon 烧杯中待分离铼。

3.3 萃取分离铼

将第一次蒸馏残液置于电热板上,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 50mL 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 5min。萃取 Re。静止分相,弃去水相。加 2 mL 5 mol/L NaOH 溶液到分液漏斗中,振荡 2 min,洗去丙酮相中的杂质。弃去水相,排丙酮到已加有 2mL 水的 150 mL 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铼。用数毫升稀 HNO₃ 溶液溶解残渣,稀释到硝酸浓度为 2%。备 ICPMS 测定 Re 同位素比值。如含铼溶液中盐量超过 1 mg/mL,需采用阳离子交换柱除去钠。

3.4 质谱测定

采用美国 TJA 公司生产的 TJA X-series ICPMS 测定同位素比值。对于 Re 选择质量数 185、187,用 190 监测 Os。对于 Os 选择质量数 186、187、188、189、190、192,用 185 监测 Re。用 TJA X-series ICPMS 测得的 Re、Os 和¹⁸⁷Os 的空白值分别为(0.0157±0.0008)×10⁻⁹、(0.0001±0.0002)×10⁻⁹和(0.0000±0.0001)×10⁻⁹,远小于所测样品中铼、钼含量,不会影响实验中铼、钼含量的准确测定。

3.5 测定结果

辉钼矿样品的 Re-Os 同位素测试结果列于表 1,由表 1 可以看出,辉钼矿的 Re 含量为 2851~7454(ng/g),¹⁸⁷Re 含量为 1792~4686(ng/g),¹⁸⁷Os 含量为 4.458~11.752(ng/g)。模式年龄为 149.1~150.7Ma,在误差范围内是一致的。用 Isoplot 软件计算了所测的 5 个点的等时线年龄(图 4)和模式

表 1 浒坑钨矿床含钨石英脉中辉钼矿 Re-Os 数据
Table 1 Re and Os analytical results of molybdenites from W-bearing quartz veins in Hukeng tungsten deposit, Wugongshan area, Jiangxi province

样号	Re(ng/g)		C 普 Os(ng/g)		¹⁸⁷ Re(ng/g)		¹⁸⁷ Os(ng/g)		模式年龄 (Ma)	
	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
G28-01	6165	137	0.0081	0.0016	3875	86	9.74	0.08	150.7	3.7
G28-01	6169	50	0.0099	0.0030	3878	32	9.643	0.075	149.1	2.0
G28-61	3245	35	0.0145	0.0073	2040	22	5.121	0.044	150.5	2.4
I13	7454	77	0.0212	0.0219	4686	48	11.752	0.093	150.4	2.3
L13-18	5195	51	0.0012	0.0058	3265	32	8.176	0.061	150.1	2.2
I13-23	2851	23	0.0072	0.0137	1792	14	4.458	0.034	149.1	2.0

注:Re、Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差,置信水平为 95%模式年龄通过下列公式计算得到: $t = \frac{1}{\lambda} [\ln(1 + \frac{^{187}\text{Os}}{^{187}\text{Re}})]$ 其中 λ 是¹⁸⁷Re 衰变常数, $\lambda = 1.666 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ (Smoliar et al., 1996)。

年龄的加权平均值(图 5),结果分别为 150.2 ± 2.2 Ma 和 149.82 ± 0.92 Ma,两者在误差范围内是一致的,从 MSWD 值及拟合概率来看,其等时线年龄和加权平均模式年龄都是可靠的。从表中还可看出,所测试的所有辉钼矿样品中普钷的含量介于 $0.0012 \sim 0.0212$ (ng/g),非常低,因此 ^{187}Os 大都是 ^{187}Re 的衰变产物,这符合计算模式年龄的条件,因而也说明了所获得模式年龄也是有效的。一般认为模式年龄代表同位素与母体分离的时间,而等时线年龄则是同位素体系最后均一化的时间。因此上述 Re-Os 等时线年龄代表了成矿年龄。

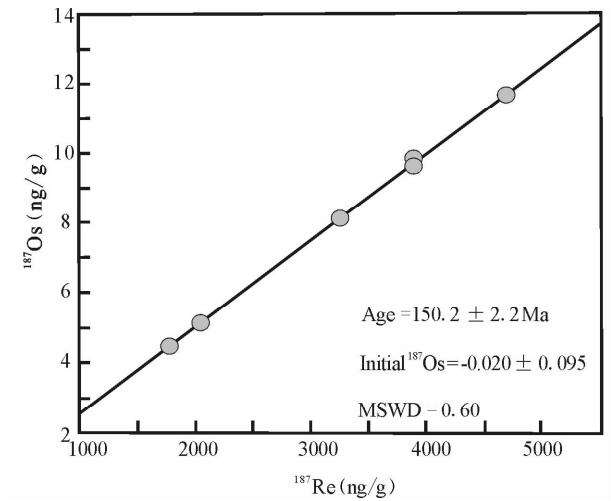


图 4 浒坑钨矿床含钨石英脉中辉钼矿的 Re-Os 等时线图

Fig. 4 Re-Os isochron diagram of molybdenites from W-bearing quartz veins in Hukeng tungsten deposit

4 讨论

4.1 成矿时代

到目前为止,浒坑钨矿床没有可靠的成矿年龄数据。近年来,大量研究表明锆石 SHRIMP 年龄和辉钼矿 Re-Os 年龄有很好的吻合性,因此辉钼矿 Re-Os 同位素年龄能精确地代表其成矿年龄(Stein et al., 1997, 1998, 2001; Watanabe and Stein, 2000; Selby and Creaser, 2001a, 2001b; Selby et al., 2002)。本次测定的辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄则是对该矿床成矿时代的有效限定。测定结果表明,浒坑钨矿床的成矿年龄为 150.2 ± 2.2 Ma。

毛景文等(2004a)认为华南地区钨锡稀有矿床的成矿时代可以分为 $170 \sim 150$ Ma, $140 \sim 126$ Ma 和 $113 \sim 90$ Ma 三个时间段,其中 $170 \sim 150$ Ma 是华南地区成矿的高峰期,赣南的几个石英脉型黑钨矿就

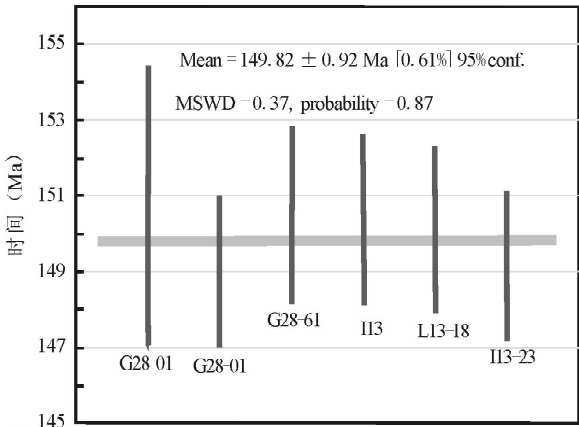


图 5 浒坑钨矿床含钨石英脉中辉钼矿的 Re-Os 模式年龄加权平均图

Fig. 5 Re-Os weighted average of model ages of molybdenites from W-bearing quartz veins in Hukeng tungsten deposit

是在这一时期形成的,例如,漂塘钨锡矿床(石英流体包裹体 Rb-Sr 法, 150.2 ± 1.4 Ma, 李华芹等, 1993)、大吉山钨矿(石英流体包裹体 Rb-Sr 法, 150.4 ± 8 Ma, 李华芹等, 1993; 白云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法, 144.4 ± 0.5 Ma 和 147.2 ± 0.6 Ma, 张文兰等, 2006)和淘锡坑钨矿床(辉钼矿的 Re-Os 法, 154.4 ± 3.8 Ma, 陈郑辉等, 2006; 石英流体包裹体 Rb-Sr 法, 153.7 ± 3.6 Ma, 157.1 ± 2.9 Ma 和 161.0 ± 3.7 Ma, 郭春丽等, 2007)。此次的测定结果表明,浒坑钨矿床的成矿时代属于华南地区钨锡多金属成矿的高峰期($170 \sim 150$ Ma)。

华南中生代花岗岩与钨锡钼铋多金属成矿关系密切,就其时差问题存在两种不同观点:① 华仁民等(2005)认为华南地区中生代花岗岩类成岩作用与成矿作用时间相去甚远,华南地区几乎所有中生代的成矿作用均远远晚于成岩作用;②但是近年来新的年代学资料(李华芹等, 1993; 李红艳等, 1996; 陈毓川等, 2003^⑨; 毛景文等, 2004b; 郭春丽等, 2007)支持另一种观点,即成岩和成矿作用同时进行,其间几乎没有时间差。例如,瑶岗仙钨矿的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 154.9 ± 2.6 Ma, 其花岗岩中白云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 155.1 ± 1.1 Ma (Peng et al., 2006); 柿竹园钨矿床的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 151 ± 3.5 Ma (李红艳等, 1996), 黑云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 坪年龄为 153.4 ± 0.2 Ma (毛景文等, 2004b); 淘锡坑钨矿的辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 154 Ma (陈郑辉等, 2006), 岩体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 158.7 ± 3.9 Ma 和 157.6 ± 3.5 Ma (郭春

丽等,2007)。浒坑钨矿床直接产于浒坑花岗岩体的原生成岩裂隙中,该岩体的 LA-ICPMS 锆石 U-Pb 年龄为 $151.6 \pm 2.6 \text{ Ma}$ (刘珺等,2008),本次测年结果表明浒坑钨矿床的成矿年龄为 $150.2 \pm 2.2 \text{ Ma}$ 。因此,浒坑钨矿床与浒坑花岗岩体在成岩和成矿时间关系上吻合得很好,近乎同时进行,都是华南地区中生代大规模成岩成矿作用高峰期的产物。

4.2 成矿物质来源

辉钼矿的铼含量对其物质来源可能有指示意义。Mao et al. (1999)在综合分析、对比了中国各类型钼矿床中辉钼矿的铼含量后总结认为,从地幔到壳幔混源再到地壳,矿石中的含铼量呈数量级下降,从幔源、I 型到 S 型花岗岩有关的矿床,其 Re 含量从 $n \times 100 \times 10^{-6} \sim n \times 10 \times 10^{-6} \sim n \times 10^{-6}$ 。如已被黄典豪等(1985)证明是幔源型矿床的陕西黄龙铺碳酸盐脉型钼(铅)矿床中辉钼矿的 Re 含量高达 $283.5 \times 10^{-6} \sim 633.1 \times 10^{-6}$;与 I 型花岗岩有关的辽宁兰家沟斑岩钼矿床的辉钼矿中 Re 含量为 $31.04 \times 10^{-6} \sim 60.6 \times 10^{-6}$ (黄典豪等,1996);而与 S 型花岗岩有关的柿竹园钨锡钼铋矿床中辉钼矿的 Re 含量仅为 $1.04 \times 10^{-6} \sim 1.34 \times 10^{-6}$ (李红艳等,1996)。因此,辉钼矿的 Re 含量可以指示成矿物质的来源(Mao et al., 1999; Stein et al., 2001)。浒坑钨矿床不同阶段矿脉中辉钼矿的铼含量较低,为 $2.851 \times 10^{-6} \sim 7.454 \times 10^{-6}$,可能反映了浒坑钨矿床的钼矿化可能与地壳重熔的 S 型花岗岩岩浆活动或地壳流体有关。

结合地质事实,该矿床中辉钼矿与黑钨矿共生^①直接产于浒坑花岗岩体的原生成岩裂隙中。而浒坑花岗岩体为重熔的 S 型花岗岩,其成岩年龄为 $151.6 \pm 2.6 \text{ Ma}$ (刘珺等,2008)。因此,浒坑钨矿床中的成矿物质来自于形成浒坑花岗岩体的燕山期重熔 S 型花岗岩岩浆活动。

4.3 成矿动力学背景

研究表明,双峰式火山-侵入杂岩和 A 型花岗岩及与其有关的碱性杂岩是软流圈上升、岩石圈减薄、大陆地壳开始拉张裂隙的最直接证据(Suneson and Lucchitta, 1983; Leat et al., 1986; Eby, 1990, 1992; Pin and Marini, 1993; 洪大卫等, 1995; 张玉泉和谢应雯,1997; Liegeois et al., 1998; Bonin et al., 1998)。近些年来大量研究者(李献华等,1997;陈培荣,1998;赵振华等,1998;范春方和陈培荣,2000;贾大成等,2003; Li et al., 2003; 王强等,2003;谢桂青,2003;王岳军等,2004)通过对华南

地区基性岩脉和碱性岩的研究认为,大多数基性岩脉是与花岗岩活动有关的岩石组合的一部分,这种组合花岗岩本身是地壳伸展环境的产物(毛景文等, 2004a)。谢桂青等(2003)将华南地区岩石圈伸展归并于 $180 \sim 155 \text{ Ma}$, $145 \sim 125 \text{ Ma}$ 和 $110 \sim 75 \text{ Ma}$ 三个阶段,这三个阶段大量基性脉岩的形成与成矿作用发生的 $170 \sim 150 \text{ Ma}$, $140 \sim 125 \text{ Ma}$ 和 $110 \sim 80 \text{ Ma}$ 三个阶段(毛景文等,2004a)基本上吻合,说明成岩成矿是同一地球动力学演化过程的产物。在武功山地区,安塘组上部碱性橄榄玄武岩的 $^{40} \text{Ar}-^{39} \text{Ar}$ 坪年龄为 $168.0 \pm 0.3 \text{ Ma}$ (王岳军等,2004),为该地区早中生代岩石圈伸展减薄提供了证据。因此,于 $150.2 \pm 2.2 \text{ Ma}$ 成矿的浒坑钨矿床应是岩石圈伸展减薄的产物。

5 结论

(1) 浒坑钨矿床的成矿年龄为 $150.2 \pm 2.2 \text{ Ma}$, 属于华南地区钨锡多金属成矿的高峰期($170 \sim 150 \text{ Ma}$),成岩和成矿时间关系上吻合得很好,近乎同时进行,都是华南地区中生代大规模成岩成矿作用高峰期的产物。

(2) 浒坑钨矿床中的成矿物质来自于形成浒坑花岗岩体的燕山期重熔 S 型花岗岩岩浆活动。

(3) 浒坑钨矿床应是赣中地区燕山期岩石圈伸展减薄的产物。

致谢:野外工作得到江西省浒坑钨矿刘志萍总工、黄宽伟工程师和周孝满工程师的帮助,在此深表谢意。

注 释

- ① 秦建云,汪邦勤,刘志萍,等. 江西省安福县浒坑钨矿资源潜力调查报告. 2005.
- ② 陈毓川等. 2003. 国家重点基础规划发展研究项目 (G1999043200)课题汇报材料. 转引自毛景文等,2004a.

参 考 文 献

陈培荣. 1998. 赣南燕山早期双峰式火山岩侵入杂岩体的构造动力学背景及其成因和演化. 南京大学博士学位论文, 1~126.

陈郑辉, 王登红, 屈文俊, 陈毓川, 王平安, 许建祥, 张家菁, 许敏林. 2006. 赣南崇义地区淘锡坑钨矿的地质特征与成矿时代. 地质通报, 25(4): 496~501.

范春方, 陈培荣. 2000. 赣南破头 A 型花岗岩的地质地球化学特征及其形成的构造背景. 地球化学, 29(4): 358~366.

郭春丽, 王登红, 陈毓川, 王彦斌, 陈郑辉, 刘善宝. 2007. 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. 矿床地质, 26(4): 432~442.

洪大卫, 王式洸, 韩宝福, 靳满元. 1995. 碱性花岗岩的构造环境分类及其鉴别标志. 中国科学, B 辑, 25(4): 418~426.

华仁民, 陈培荣, 张文兰, 陆建军. 2005. 论华南地区中生代 3 次大规模成矿作用. 矿床地质, 24(2): 99~107.

黄典豪, 杜安道, 吴澄宇, 刘兰笙, 孙亚莉, 邹晓秋. 1996. 华北地台钼(铜)矿床成矿学研究——辉钼矿铼-钼年龄及其地质意义. 矿床地质, 15: 289~297.

黄典豪, 王义昌, 聂凤军, 江秀杰. 1985. 一种新的钼矿床类型——陕西黄龙铺硫酸盐脉型钼(铅)矿床地质特征. 地质学报, 59(3): 241~257.

黄汲清. 1954. 中国主要地质构造单位. 北京: 地质出版社.

贾大成. 2003. 湘桂东地区中生代基性岩地球化学与岩石圈演化. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 1~100.

李红艳, 毛景文, 孙亚莉, 邹晓秋, 何红菱, 杜安道. 1996. 柿竹园钨多金属矿床的 Re-Os 同位素等时线年龄研究. 地质论评, 42(3): 261~267.

李华芹, 刘家齐, 魏林. 1993. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用. 北京: 地质出版社, 28~75.

李献华, 胡瑞忠, 饶冰. 1997. 粤北白垩纪基性岩脉的年代学和地球化学. 地球化学, 26(2): 14~31.

刘璐, 毛景文, 叶会寿, 杨国强, 章伟. 2008. 江西省武功山地区浒坑花岗岩的锆石 U-Pb 定年及元素地球化学特征. 岩石学报, 24(8): 1819~1822.

陆松年. 1998. 新元古代时期 Rodinia 超大陆研究进展述评. 地质论评, 44(5): 489~495.

毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张长青, 梅燕雄. 2004a. 华南地区中生代大规模成矿作用与岩石圈多阶段伸展. 地学前缘, 11(1): 45~55.

毛景文, 李晓峰, Lehmann B, 陈文, 蓝晓明, 魏绍六. 2004b. 湖南芙蓉锡矿地质特征、锡矿石和有关花岗岩的⁴⁰Ar-³⁹Ar 测年及其成岩成矿的地球动力学意义. 矿床地质, 22(2): 164~175.

莫柱孙, 叶伯丹, 潘维祖, 汪绍年, 庄锦良, 高秉璋, 刘金全, 刘文章. 1980. 南岭花岗岩地质学. 北京: 地质出版社, 115~153.

舒良树, 孙岩, 王德滋. 1998. 华南武功山中生代伸展构造. 中国科学(D 辑), 28(5): 431~438.

汤加富, 王希明, 刘芳宇. 1991. 江西武功山地区中浅变质岩 1/50000 区域地质调查方法研究. 武汉: 中国地质大学出版社, 1~95.

王强, 赵振华, 简平, 熊小林, 马金龙, 包志伟. 2003. 武夷山洋坊霓辉石正长岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其构造意义. 科学通报, 48: 1582~1588.

王岳军, 廖超林, 范蔚茗, 彭头平. 2004. 赣中地区早中生代 OIB 碱性玄武岩的厘定及构造意义. 地球化学, 33(2): 109~117.

翁文灏. 1920. 中国区域矿产论. 农商部地质调查所, 地质汇报, 第 2 号: 9~24.

谢桂青. 2003. 中国东南部晚中生代以来的基性岩脉(体)的地质地球化学特征及其地球动力学意义初探——以江西省为例. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 1~128.

谢家荣. 1936. 中国之矿产时代及矿产区域. 地质论评, 1(3): 363~380.

徐克勤, 丁益. 1943. 江西南部钨矿地质志. 经济部中央地质调查所, 地质专报(甲种), 1~359.

徐克勤, 刘英俊. 1960. 江西南部加里东花岗岩的发现. 地质论评, 20(3): 112~114.

严坤元. 1946. 江西花岗岩之时代问题. 地质论评, 11(1-2): 85~93.

张文兰, 华仁民, 王汝成, 陈培荣, 李惠民. 2006. 赣南大吉山花岗岩成岩与钨矿成矿年龄的研究. 岩石学报, 80(7): 956~962.

张玉泉, 谢应雯. 1997. 衰老山-金沙江富碱侵入岩年代学和 Nd, Sr 同位素特征. 中国科学, D 辑, 27(4): 289~293.

赵振华, 包志伟, 张伯友. 1998. 湘南中生代玄武岩类地球化学特征. 中国科学(D), 28(增刊): 7~14.

朱炎龄, 李崇佑, 林运淮. 1981. 赣南钨矿地质. 南昌: 江西人民出版社.

Bonin B, Azzouni-Sekkal A, Bussy F, Ferrag F. 1998. Alkali-calcic and alkaline post-orogenic (PO) granite magmatism: petrologic constraints and geodynamic settings. Lithos, 45: 45~70.

Du A D, Wu S Q, Sun D Z, Wang S X, Qu W J, Markey R, Stein H, Morgan J, Malinovskiy D. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: molybdenite HLP and JDC. Geostandard and Geoanalytical Research, 28(1): 41~52.

Eby G N. 1990. The A type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis. Lithos, 26: 115~134.

Eby G N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. Geology, 20: 641~644.

Leat P T, Jackson S E, Thorpe R S, et al. 1986. Geochemistry of bimodal basalt-subalkaline /peralkaline rhyolite provinces within the Southern British Caledonides. Journal of the Geological Society, 143: 259~273.

Liegeois J P, Navez J, Hertogen J and Black R. 1998. Contrasting origin of post-collisional high-K talc-alkaline and shoshonitic versus alkaline and peralkaline granitoids. The use of sliding normalization. Lithos, 45: 1~28.

Li X H, Cheng Z G, Liu D Y. 2003. Jurassic gabbro-syenite suites from southern Jiangxi province, SE China: Age, origin, and tectonic significance. International Geology Review, 45: 898~921.

Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z Z, Du A D. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W-(Mo) deposit in the northern Qilian Mountains and its geological significance. Geochimica et Cosmochimica Acta, 63, 1815~1818.

Maruéjol P, Cuney M, Turpin L. 1990. Magmatic and hydrothermal REE fractionation in the Xihuashan granites (SE China). Contrib. Mineral Petrol., 104: 668~680.

McKee E. H., Rytuba J J, Xu K Q. 1987. Geochronology of the Xihuashan composite granitic body and tungsten mineralization, Jiangxi province South China. Econ. Geol., 82: 218~223.

Peng J T, Zhou M F, Hu R Z, Shen N P, Yuan S D, Bi X W, Du A D, Qu W J. 2006. Precise molybdenite Re-Os and mica Ar-Ar dating of the Mesozoic Yaogangxian tungsten deposit, central Nanling district, South China. Mineralium Deposita, 41: 661~669.

- Pin C, Marini F. 1993. Early Ordovician continental break-up in Variscan Europe: Nd-Sr isotope and trace element evidence from bimodal igneous associations of the Southern Massif Central, France. *Lithos*, 29: 177~196.
- Selby D, Creaser R A. 2001a. Re-Os geochronology, systematics in molybdenite from the Endako porphyry molybdenum deposit, British Columbia, Canada. *Econ. Geol.*, 96: 197~204.
- Selby D, Creaser R A. 2001b. Late and Mid Cretaceous mineralization in the Northern Canadian Cordillera: constraints from Re-Os molybdenite dates. *Econ. Geol.*, 96: 1461~1467.
- Selby D, Creaser R A, Hart C J R, Rombach C S, Thompson J F H, Smith M T, Bakke A, Goldfarb R J. 2002. Absolute timing of sulfide and gold mineralization: A comparison of Re-Os molybdenite and Ar-Ar mica methods from the Tintina Gold Belt, Alaska. *Geology*, 30: 791~794.
- Shirey S B, Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis. *Anal. Chem.*, 67: 2136~2141.
- Shu L S, Charvet J. 1996. Kinematics and geochronology of the Dongxiang-Shexian ductile shear zone; with HP metamorphism and ophiolitic China). *Tectonophysics*, 267: 291~302.
- Smoliar M I, Walker R J, Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group IIA, IIIA, IVA and VIB iron meteorites. *Science*, 271: 1099~1102.
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Du A, Sun Y. 1997. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the East Qinling molybdenum belt, Shanxi province, China. *Econ. Geol.*, 92: 827~835.
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Hannah J L, Schersten A. 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: How and why it works. *Terra Nova*, 13: 479~486.
- Stein H J, Sundblad K, Markey R, Morgan J W, Motuza G. 1998. Re-Os ages for Archean molybdenite and pyrite, Kuittila-Kiviso, Finland and Proterozoic molybdenite, Kabeliai, Lithuania: Testing the chronometer in a metamorphic and metasomatic setting. *Mineralium Deposita*, 33: 329~345.
- Suneson N, Lucchitta I. 1983. Origin of bimodal volcanism, southern Basin and Range province, west-central Arizona. *Geological Society of America Bulletin*, 94: 1005~1019.
- Watanabe Y, Stein H J. 2000. Re-Os ages for the Erdenet and Tsagaan Suvarga porphyry Cu-Mo deposits, Mongolia, and tectonic implications. *Econ. Geol.*, 95: 1537~1542.
- Yuan S D, Peng J T, Shen N P, Hu R Z, Dai T M. 2007. ^{40}Ar - ^{39}Ar isotopic dating of the Xianghualing Sn-polymetallic orefield in southern Hunan, China and its geological implications. *Acta Geologica Sinica*, 81(2): 278~286.
- Yuan S D, Peng J T, Hu R Z, Li H M, Shen N P, Zhang D L. 2008. A precise U-Pb age of cassiterite from the Xianghualing tin-polymetallic deposit (Hunan, South China). *Mineralium Deposita*, 43(4): 375~382.

Re-Os dating of molybdenite from the Hukeng tungsten deposit in the Wugongshan area, Jiangxi Province, and its geological implications

LIU Jun^{1,2,3)}, YE Huishou²⁾, XIE Guiqing²⁾, YANG Guoqiang³⁾, ZHANG Wei³⁾

1) *The Civil Engineering School of Anhui University of Architecture, Hefei, 230022*; 2) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*; 3) *China University of Geoscience, Beijing, 100083*

Abstract

Hukeng tungsten deposit is one large scale quartz vein type wolframite deposit in the Wugongshan metallogenic belt in central Jiangxi Province. For the purpose of studying the chronology of the deposit, five molybdenite samples from the paragenetic wolframite in the W-bearing quartz veins were selected to do the Re-Os dating, yielding an isochrone age of 150.2 ± 2.2 Ma and weighted average model age of 149.82 ± 0.92 Ma. These results indicate the Hukeng tungsten deposit formed in about 150 Ma and was the product of the peak period of Mesozoic large scale petrogenesis and metallogenesis in South China. The molybdenites from the Hukeng tungsten deposit have a very low content of Re, showing a crustal source for ore-forming materials. The deposit formed in the Yanshanian lithospheric extensional and thinning environment.

Key words: molybdenite; Re-Os dating; tungsten deposit; Hukeng; W-bearing quartz veins; Wugongshan area

