

鄂东南地区鸡笼山矽卡岩金矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其构造意义

王建^{1,2)}, 谢桂青²⁾, 陈凤河¹⁾, 朱乔乔²⁾, 李伟²⁾, 张志远²⁾

1) 河北省地矿局探矿技术研究院, 河北燕郊, 065201; 2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037

内容提要:鄂东南地区是我国长江中下游 Cu-Au-Fe-Mo 成矿带中最重要的组成部分之一, 其中鸡笼山金矿是区内典型的大型矽卡岩金矿床。本文利用 Re-Os 同位素定年方法对鸡笼山金矿床进行了成矿时代测定, 获得了辉钼矿的 Re-Os 同位素模式年龄范围为 $147.7 \pm 2.4 \sim 151.6 \pm 4.0$ Ma, 等时线年龄为 148.6 ± 1.5 Ma, 与区内花岗闪长斑岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄 151.6 ± 0.7 Ma 相吻合, 也与鄂东南地区其他矿田的成矿时代基本一致。鸡笼山矽卡岩金矿床可能形成于岩石圈伸展构造背景。硫同位素值为 $-2.5\% \sim 5.5\%$, 均值为 2.84% , 具有明显的塔式效应, 反映了成矿物质具有岩浆来源的特征; 辉钼矿中 Re 含量为 $174.3 \times 10^{-6} \sim 871.4 \times 10^{-6}$, 平均为 476.2×10^{-6} , 表明成矿物质来源属于壳幔混源型。

关键词: 辉钼矿; Re-Os 同位素定年; 硫同位素; 鸡笼山金矿; 鄂东南

鄂东南地区是长江中下游多金属成矿带的重要组成部分, 已在矿床分布、矿床地质、成矿过程和成矿作用进行了大量研究, 积累了丰富的基础地质资料并取得了许多重要认识(舒全安等, 1992; 薛迪康等, 1998; 谢桂青等, 2006, 2009; Xie G Q et al., 2007, 2011; Li J W et al., 2009)。前人对成矿时代的确定主要通过成矿有关的岩体的 K-Ar 和 Rb-Sr 等时线法间接获得, 由于这些方法范围较宽且具不确定性(周询若等, 1994), 不利于区域成矿规律和构造背景的理解; 近年来, 辉钼矿 Re-Os 可以精确测得矿床的成矿年龄(Mao J W et al., 2006)。鸡笼山花岗闪长斑岩体是控制该矿床成矿的主要因素, 鸡笼山金矿的形成在时间上与岩体关系密切。本文在详细研究该金矿矿床特征基础上, 挑选了矿区内 5 件辉钼矿样品进行 Re-Os 同位素定年, 结合区内成矿年龄数据较准确的厘定矿床的成矿时代, 并结合 S 同位素和辉钼矿中 Re 含量数据探讨成矿其成矿物质来源。

1 地质背景

长江中下游地区位于扬子板块以北和大别造山

带以南(图 1)。鄂东南地区地处长江中下游成矿带西端, 是长江中下游成矿多金属成矿带的重要组成部分(谢桂青等, 2006; 毛景文等, 2009; Mao J W et al., 2011; 瞿泓滢等, 2012), 包括鄂东和九瑞矿集区。鄂东南地区内地层从志留系到第四系均有出露, 各时代地层发育较为完整, 以三叠纪大冶组灰岩、蒲圻组砂页岩、侏罗纪武昌组含煤砂页岩和自流井组砂质碎屑岩、灵乡组、大寺组火山岩和火山碎屑岩分布广泛; 区内主要含矿地层为三叠系大冶组的灰岩和白云质灰岩。该地区构造褶皱、构造十分发育, 构造线总体呈(NW) NWW 向, 西部撒开, 东部收敛, 褶皱构造主要为近 EW 向, 断裂构造主要分为 NE-NNE 和 NW-NWW 向两组; 其中区内 Cu-Au 矿田主要受 NW-NWW 向阳新-瑞昌深大断裂及 NE-NNE 向郟庐深大断裂过江南延段控制(舒广龙, 2004)。近年来, 通过辉钼矿 Re-Os 和 SHRIMP 锆石 U-Pb 精确定年研究, 鄂东南地区厘定出晚侏罗世一早白垩世初(斑岩-)矽卡岩 Fe-Cu-Au 多金属大规模成矿事件, 与侵入岩存在密切的时空关系(Xie G Q et al., 2007; Li J W et al., 2007); 该地区岩浆活动频繁, 相关侵入岩主要为辉长岩、闪长岩、石

注: 本文为中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 K0902 和国土资源部公益性行业课题(200911007-18 和 2013111136)、科学技术部 973 课题(2007CB411407)资助。

收稿日期: 2013-07-08; 改回日期: 2014-05-06; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 王建, 男, 1985 年生, 地质工程师, 从事地质勘查和科研工作, Email: beijingwangjian@163.com。通讯作者: 谢桂青, 男, 1975 年生, 研究员, 地球化学专业, Email: guiqingxie@sohu.com。

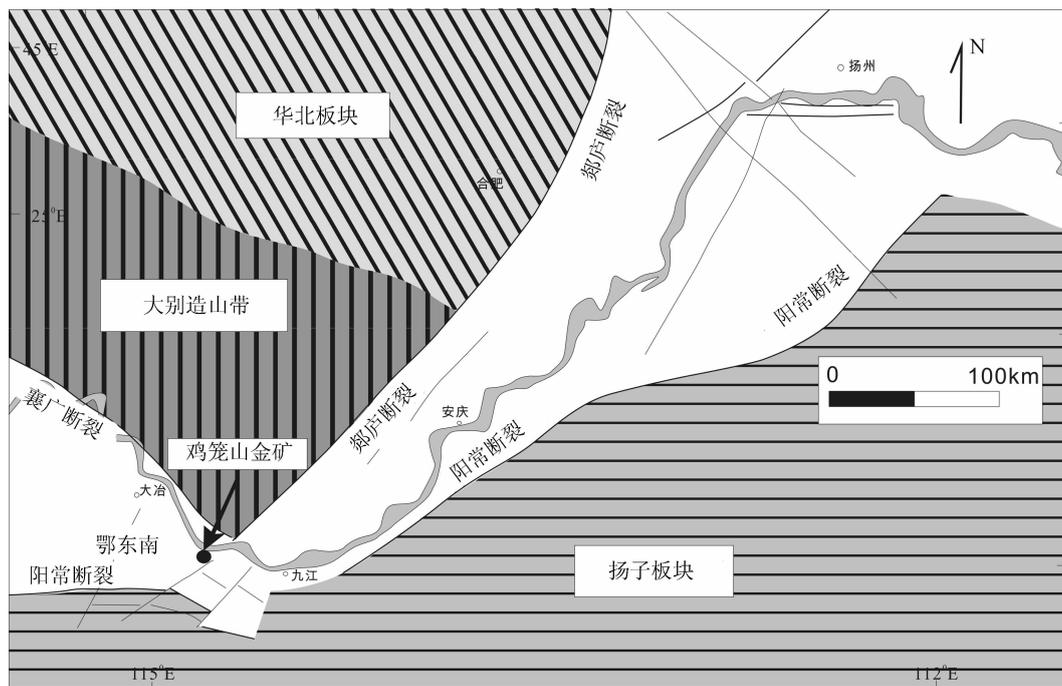


图1 鄂东南地区鸡笼山矽卡岩金矿床大地构造位置图(谢桂青等,2006;毛景文等,2009)

Fig. 1 The tectonic map of the Jilongshan skarn Au deposit in southeastern Hubei

(Xie Guiqing et al., 2006; Mao Jingwen et al., 2009)

英闪长岩、花岗闪长岩、石英二长岩和花岗岩,其中与Cu-Au成矿有关的以石英闪长岩、花岗闪长(斑)岩最为重要(翟裕生等,1992;Xie G Q et al., 2007;周涛发等,2008;Li J W et al., 2009;谢桂青等,2009;Xie G Q et al., 2011;徐耀明等,2012)。该地区内矿产资源丰富,矿床类型主要可以分为:矽卡岩Fe矿床,如程潮、金山店、铁山(Cu)Fe矿;矽卡岩Cu矿床,如铜绿山(Fe)Cu矿床;斑岩-矽卡岩铜矿,如丰三洞(Mo)Cu矿床、铜山口(Mo)Cu矿床;矽卡岩Au矿床,如鸡笼山(Cu)Au矿床、鸡冠嘴(Cu)Au矿床、桃花嘴Cu(Au)矿床。

2 矿床地质特征及采样位置

前人已对鄂东南地区重要的矽卡岩铁铜多金属矿床的地层、岩浆岩、构造、矿体特征、矿物组合和蚀变分带进行了详细的研究和总结(常印佛等,1991;翟裕生等,1992;舒全安等,1992;Zhao Y M et al., 1999;谢桂青等,2008a,2008b)。本研究以鸡笼山矽卡岩金矿床为研究对象,重点研究其成矿年龄成矿时代、成矿物质来源。

矿区出露的岩石主要有花岗闪长斑岩、三叠世大冶组碳酸盐岩和长兴组灰岩,矿体(图2)产于花岗闪长斑岩与白云质灰岩接触带及其附近,多沿接触带呈北西向分布,区内构造控制岩体矿体走向,多

向南陡倾。该矿床主要由南、北2个主矿体和多个小矿体组成,两个主矿体的Cu、Au储量占总矿床储量的80%以上。北主矿体主要分布来岩体北缘接触带上,呈似层状,NW向延伸,倾向SW,向SE侧伏,长550m,平均厚4.3m,延伸250~300m,是一个伴生Pb-Zn-Au矿体的Cu-Au矿体。南主矿体主要分布在岩体南缘的大理岩舌状体接触带上,矿体呈脉状或似脉状,边部呈分枝状延伸于大理岩层间破碎带中,倾向SW,向SE侧伏,长600m,宽6.33m,延伸60~300m,为Cu-Au矿体。围岩蚀变强烈,主要有矽卡岩化、钾化、硅化、碳酸盐化等;根据脉体相互穿插关系、矿物组合、生成顺序及成矿温度,可将鸡笼山金矿的蚀变矿化阶段划分为:矽卡岩阶段(石榴石、透辉石组合)、退化蚀变阶段(绿帘石、金云母组合)和石英-硫化物阶段(自然金、黄铜矿组合为主),对应于三个阶段的热液蚀变温度分别为400~680℃、300~450℃、126~386℃(闭忠敏等,2008)。

硫化物阶段自然金和黄铜矿密切共生,主要呈块状、浸染状、网脉状和角砾状产出,根据该北主矿体24ZK7内岩体、矽卡岩接触带、围岩等不同位置Cu-Au品位垂向变化表(图3a)显示:自然金和黄铜矿具有良好的相关性,在Cu、Au品位变化呈良好的正相关。辉钼矿主要发育在石英硫化物阶段,主要呈浸染状产于矽卡岩铜金矿石(图3b)中,另外一

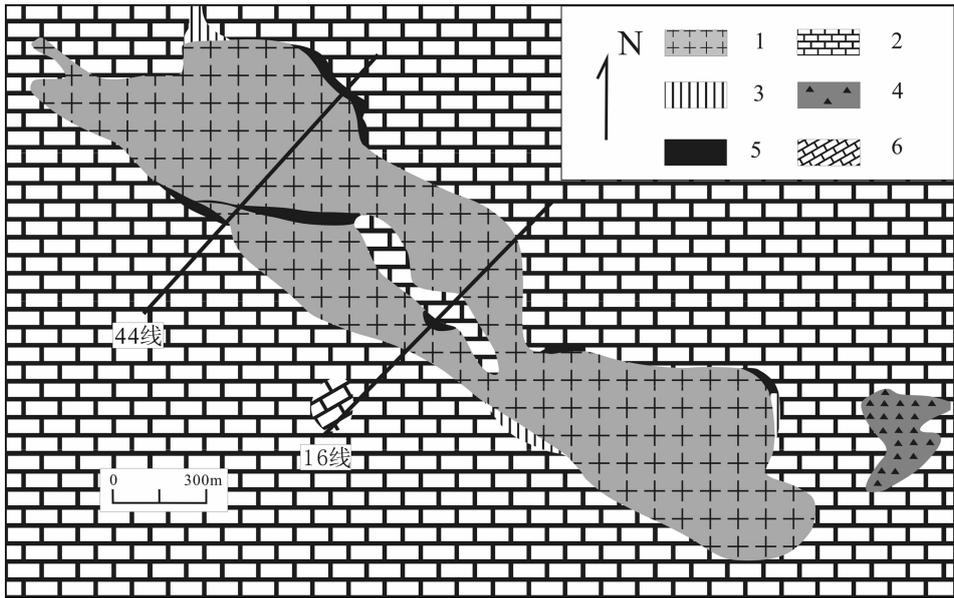


图 2 鄂东南地区鸡笼山矽卡岩金矿床地质略图(据闭忠敏等,2008)

Fig. 2 Geological map of the Jilongshan skarn Au deposit in southeastern Hubei (Bi Zhongmin et al., 2008)

- 1—花岗闪长斑岩;2—三叠系大冶组灰岩;3—矽卡岩;4—角砾岩;5—铜金矿体;6—二叠系长兴组灰岩
- 1—Granodiorite porphyry;2—Triassic limestone of Daye Formation;3—skarn;4—breccia;
- 5—copper-gold orebody;6—Permian limestone of Changxing formation

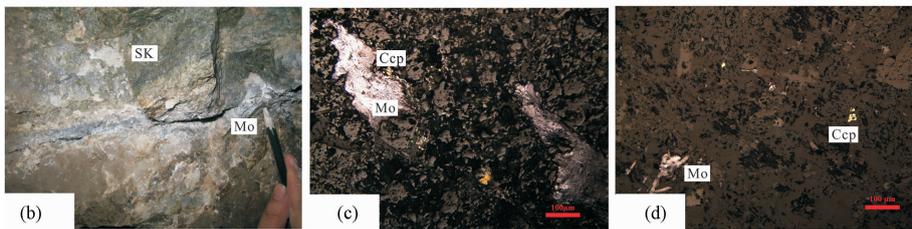
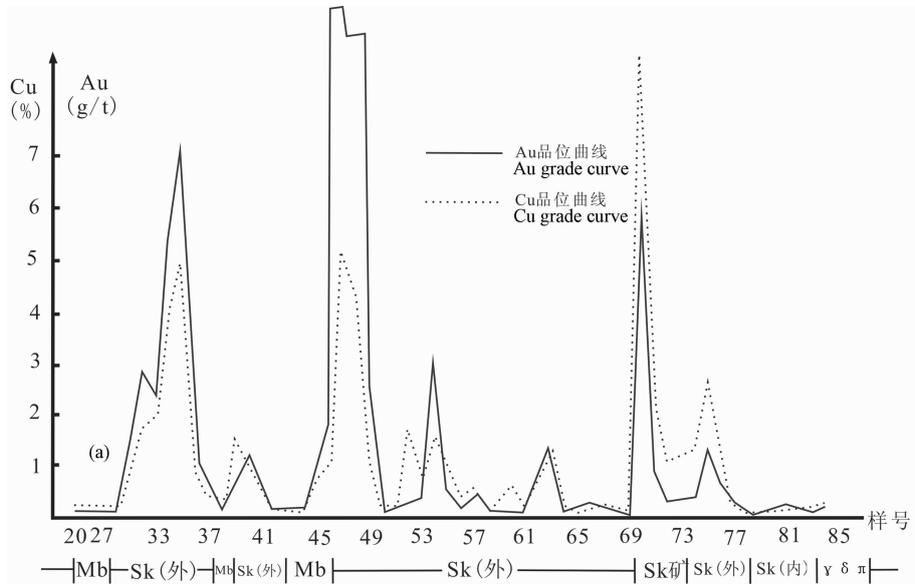


图 3 (a)—鸡笼山矽卡岩金矿床北主矿体 Cu-Au 品位垂向变化曲线图(据 24Zk7);

(b)—WJ247 辉钼矿呈脉状,产于矽卡岩中;(c,d)—WJ247,在反射光下,辉钼矿与黄铜矿共生;Mo—辉钼矿;Ccp—黄铜矿

Fig. 3 (a)—The Cu-Au grade vertical graph of the north orebody in the Jilongshan skarn Au deposit(24ZK7);

(b)—WJ247 Molybdenite vein in the skarn; (c,d)—WJ247 Mo and Ccp,in the reflected light;

Mo—molybdenite; Ccp—chalcopyrite

表 1 鄂东南地区鸡笼山矽卡岩金矿床辉钼矿样品取样位置表

Table 1 Re-Os dating data from the molybdenites of the Jilongshan skarn Au deposit in southeastern Hubei

序号	样号	样品描述	采样位置
1	WJ247	钼铜金矿石,产于矽卡岩中	170 中段主运输巷转弯处 12m
2	WJ267	钼铜金矿石,产于矽卡岩中	210m 中段 28 穿脉口
3	WJ323	呈脉状,穿插花岗闪长斑岩体	440m 中段-44204 穿脉 35m 处
4	WJ328	辉钼矿化矽卡岩	440m 中段-44204 穿脉 28m 处
5	WJ602	呈脉状,产于矽卡岩中	90m 中段 35-1 采场

种呈细脉状石英硫化物脉穿插岩体。镜下鉴定显示,辉钼矿与黄铜矿密切共生(图 3c,3d),由于金主要以包体金、粒间金赋存与铁铜硫化物中,镜下未观察到自然金、黄铜矿共生的现象,但是化学分析显示铜金品位具有良好的正相关性,所以可以认定辉钼矿 Re-Os 年龄基本能够准确代表鸡笼山金矿床的成矿年龄。本次工作在鸡笼山矽卡岩金矿床井下五个不同位置采集了 5 件含辉钼矿样品,采样位置较分散,兼顾不同中段,不同产状,具备良好的代表性。具体采样位置和产状见表 1。

3 测试方法

3.1 辉钼矿

含辉钼矿样品经分离挑选,辉钼矿的纯度均大于 99%。辉钼矿颗粒较粗,为避免大颗粒辉钼矿中由于 Re 和 Os 的失偶而引起的测年误差(Selby et al., 2004),测试前将辉钼矿样品研磨到 0.05~0.1mm。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 同位素实验室完成的。分析方法及程序详见 Shirey 等(1995),Du A D 等(1995),Du Y S 等(2004),现简述如下。

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,调节温度到摄氏-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¹⁸⁵Re 和¹⁹⁰Os 混合稀释剂加入到 Carius 管底部,再加入 2mL 10mol/L HCl,4mL 16mol/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 tube,并用 40mL 水将管中溶液转入蒸馏瓶中。

于 105~110℃蒸馏 50min,用 10mL 水吸收蒸出的 OsO₄。用于 ICPMS(等离子体质谱仪测定)测

定 Os 同位素比值。将蒸馏残液倒入 150mL Teflon 烧杯中待分离铼。将第一次蒸馏残液置于电热板上,加热近干。加少量水,加热近干。重复两次以降低酸度。加入 10mL 5mol/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 10mL 丙酮,振荡 5min,萃取 Re。静止分相,弃去水相。加 2mL5mol/L NaOH 溶液到分液漏斗中,振荡 2min,洗去丙酮相中的杂质。弃去水相,排丙酮到 150mL 已加有 2mL 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铱。用数毫升稀 HNO₃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 1mg/mL,需采用阳离子交换柱除去钠。

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:选择质量数为 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 $(0.0157 \pm 0.0008) \times 10^{-9}$ 、 $(0.0001 \pm 0.0002) \times 10^{-9}$ 和 $(0.0000 \pm 0.0001) \times 10^{-9}$,远小于所测样品中铼、铱含量,不会影响实验中铼、铱含量的准确测定。

3.2 S 同位素

进行 S 同位素分析的样品首先经粉碎,然后在双目镜下挑选提纯,使之纯度达 99%以上,再选取黄铁矿粉末样 50mg,将样品和氧化亚铜按 1:10 比例混合均匀并研磨至 200 目左右,在真空度达 (2.0×10^{-10}) 状态下加热,进行氧化反应,反应温度为 980℃,生成二氧化硫气体。在真空条件下,用冷冻法收集二氧化硫气体,使用 MAT253 气体同位素质谱仪分析硫同位素组成。S 同位素测试工作在核工业地质研究所实验室完成,分析仪器型号为 MAT-251EM 型质谱仪,并以 VCDT 为标准,硫同位素参

考标准 DZ/T0184.14-1997《硫化物中硫同位素组成的测定》,测试结果以 CDT 为标准,记为 $\delta^{34}S_{V-CDT}$,分析精度优于 $\pm 0.2\%$ 。

4 测试结果

挑选了 13 件鸡笼山金矿床中的硫化物进行了硫同位素分析,其中包括 10 件黄铁矿及 3 件辉钼矿,同时收集了前人的硫同位素分析结果列于表 2。分析结果显示: $\delta^{34}S_{V-CDT}$ 值 = $1.1\% \sim 5.5\%$,平均值为 3.8% ,其中辉钼矿的 $\delta^{34}S_{V-CDT}$ 值 = 2.5%

$\sim 5.0\%$ 。

ICP-MS 测试 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 95%。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度(1.02%),置信水平 95%。

鸡笼山矽卡岩金矿床的 5 件辉钼矿样品使用 ICP-MS 方法进行测定,得到模式年龄为 $147.7 \pm 2.2 \sim 151.6 \pm 4.0$ Ma (2σ),加权平均年龄为 149 ± 1 Ma(图 4),样品模式年龄十分接近(表 3)。采用

表 2 鄂东南地区鸡笼山矽卡岩金矿床硫同位素数据一览表

Table 2 Re-Os dating data from the molybdenites of the Jilongshan skarn Au deposit in southeastern Hubei

样号	测试矿物	$\delta^{34}S_{V-CDT}(\%)$	岩(矿)石名称	样号	测试矿物	$\delta^{34}S_{V-CDT}(\%)$	岩(矿)石名称
WJ387	黄铁矿	4.2	花岗闪长斑岩岩体	9	黄铁矿	2.5	矽卡岩
WJ385	黄铁矿	4.3	矽卡岩铜矿石	10	黄铁矿	1.4	矽卡岩
WJ383	黄铁矿	5.3	退化蚀变矽卡岩	11	黄铁矿	2.8	大理岩
WJ371	黄铁矿	5.1	矽卡岩化大理岩	12	黄铁矿	3.8	花岗岩闪长斑岩
WJ366	黄铁矿	4.0	石英黄铁矿脉	13	黄铁矿	3.3	花岗岩闪长斑岩
WJ350	黄铁矿	4.1	斑铜矿矿石	14	黄铁矿	3.3	矽卡岩
WJ328	黄铁矿	5.5	矽卡岩化黄铁矿	15	黄铁矿	1.1	矽卡岩
WJ324	黄铁矿	4.3	花岗闪长斑岩岩体	16	黄铁矿	3.5	矽卡岩
WJ322	黄铁矿	4.3	花岗闪长斑岩岩体	17	黄铁矿	5.5	花岗岩闪长斑岩
WJ262	黄铁矿	5.5	石英黄铁矿脉	18	黄铁矿	3.0	花岗岩闪长斑岩
WJ322	辉钼矿	2.2	产于矽卡岩中	19	黄铁矿	4.5	花岗岩闪长斑岩
WJ267	辉钼矿	1.6	产于矽卡岩中	20	黄铁矿	2.5	含金矿石
WJ247	辉钼矿	1.2	石英硫化物脉	21	黄铁矿	5.0	黄铜矿矿石
1	黄铁矿	2.1	矽卡岩	22	方铅矿	-2.5	铅锌矿石
2	黄铁矿	1.8	矽卡岩	23	方铅矿	3.4	矽卡岩
3	黄铁矿	1.0	矽卡岩	24	黄铜矿	0.4	石英硫化物脉
4	黄铁矿	1.2	矽卡岩	25	黄铁矿	-1.9	矿脉
5	黄铁矿	1.7	矽卡岩	26	雄黄	2.5	
6	黄铁矿	3.3	矽卡岩	27	雌黄	0.9	
7	黄铁矿	2.5	矽卡岩	28	黄铁矿	5.6	矽卡岩
8	黄铁矿	3.3	矽卡岩	29	黄铁矿	6.1	矽卡岩

资料来源:WJ 样品来自本文;1~11,来自贾宝剑,2012;12~21,来自张轶男,1999;22,来自伍超群,1993;23~25,来自徐耀通,1992;26~29,来自张振儒等,1989。

表 3 鄂东南地区鸡笼山矽卡岩型金矿中辉钼矿 Re-Os ICP-MS 同位素数据

Table 3 Re-Os ICP-MS isotope data of molybdenites from the Jilongshan skarn Au deposit in Southeast Hubei Province

编号	样重(g)	Re ($\times 10^{-6}$)		普 Os ($\times 10^{-9}$)		^{187}Re ($\times 10^{-6}$)		^{187}Os ($\times 10^{-9}$)		模式年龄 (Ma)	
		测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ	测定值	2σ
WJ247	0.00502	383.0	3.1	0.5430	0.3688	240.7	1.9	600.0	4.9	149.4	2.1
WJ267	0.00519	871.4	7.4	0.0755	0.1692	547.7	4.7	1360	12	148.9	2.2
WJ323	0.00531	174.3	1.4	0.0793	0.2667	109.5	0.9	274.2	2.3	150.1	2.1
WJ328	0.00559	2419.6	57.1	0.2614	0.6413	1520.8	35.9	3845	35	151.6	4.0
WJ602	0.00572	764.7	8.3	0.0241	0.0214	480.6	5.2	1184	11	147.7	2.4

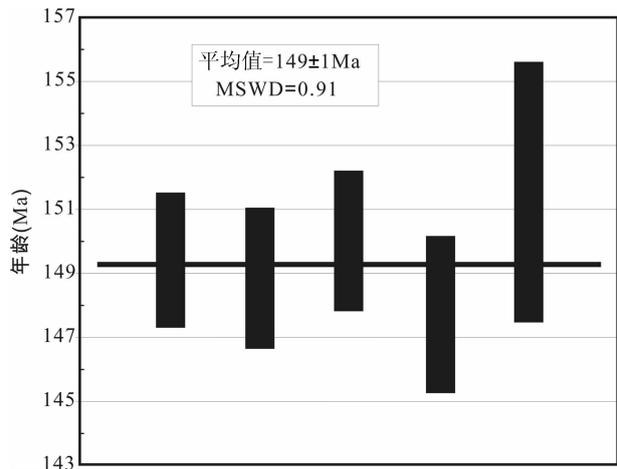


图4 鸡笼山金矿床中辉钼矿 Re-Os 加权平均年龄图
Fig. 4 Molybdenite Re-Os weighted mean diagram of the Jilongshan Au deposit in Southeast Hubei Province

ISOPLOT 软件 (Ludwig, 1999), ^{187}Re 衰变常数 $1.666 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$, 绘制等时线图并计算年龄及误差, 不确定度 1.02%。所获得的 5 件样品数据进行 ^{187}Re - ^{187}Os 等时线拟合得到等时线年龄为 $148.6 \pm 1.5 \text{ Ma}$, 初始 Os 为 $(2.5 \pm 4.8) \times 10^{-9}$ (MSWD=1.2), 所得到的等时线年龄与相应的模式年龄平均值几乎一致 (图 5)。

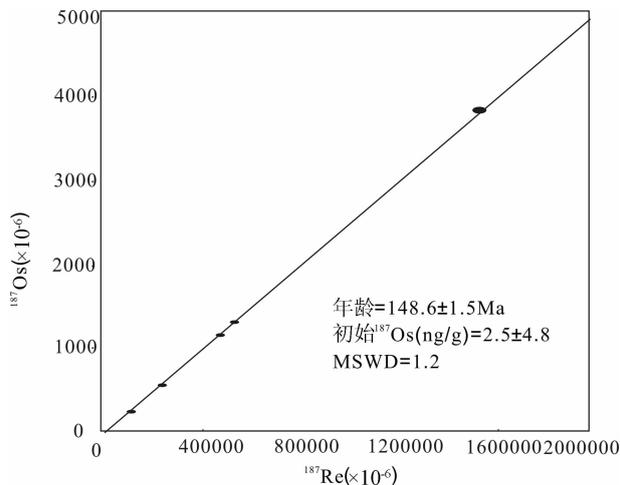


图5 鄂东南地区鸡笼山金矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素等时线
Fig. 5 Molybdenite Re-Os isochron diagram of the Jilongshan Au deposit in Southeastern Hubei

5 讨论

5.1 成矿物质来源

硫同位素能够指示成矿物质来源, 一般认为地幔 $\delta^{34}\text{S}$ 接近于 $0 \pm 3\text{‰}$ 。鸡笼山矽卡岩金矿床硫同位素 $\delta^{34}\text{S}_{\text{V-CDT}}$ 值为 $-2.5\text{‰} \sim 5.5\text{‰}$, 均值为 2.84‰ ; 其中, 花岗闪长斑岩体的 $\delta^{34}\text{S}$ (均值 4.1‰)

大于矽卡岩的 $\delta^{34}\text{S}$ (均值 2.3‰) 大于含金矿石的 $\delta^{34}\text{S}$ (均值 1.7‰), 具有岩浆分异含矿流体成矿作用的特点。同时, 硫同位素的变化范围较窄, 主要集中于 $+0.9\text{‰} \sim +5.5\text{‰}$, 平均值为 3.2‰ , 表明矿石中硫源与是相对均一的, 分布直方图 (图 6) 也显示其分布具有明显的塔式效应, 均值分布于地幔硫值范围, 反映了成矿物质岩浆来源的特征。

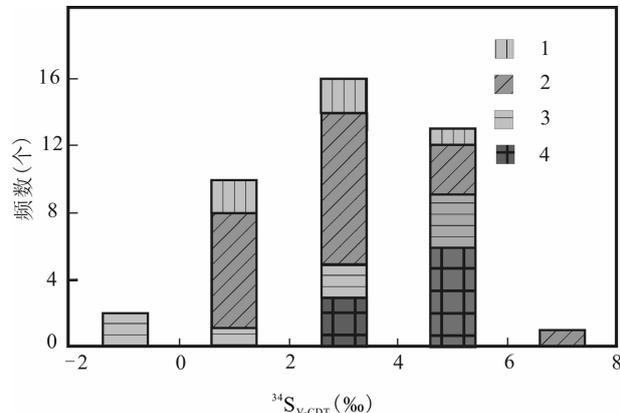


图6 鄂东南地区鸡笼山金矿床中 S 同位素塔式分布图
Fig. 6 Histogram map of sulfur isotope data in the Jilongshan skarn Au deposit in southeastern Hubei
1—石英脉; 2—矽卡岩; 3—含金矿石; 4—花岗闪长斑岩
1— Quartz vein; 2— skarn; 3— gold orebody; 4— granodiorite porphyry

已有研究表明辉钼矿中 Re 含量可以指示成矿物质来源 (毛景文等, 1999; Mao J W et al., 1999), 即与幔源、I 型、S 型花岗岩有关的矿床, 地幔到壳幔混源再到地壳, 矿石中 Re 含量呈一个递减数量级; Stein 等 (2001) 也得出类似结论。本文研究获得鸡笼山金矿床中辉钼矿的 Re 含量为 $174.3 \times 10^{-6} \sim 871.4 \times 10^{-6}$ (表 3), 平均为 476.2×10^{-6} , 辉钼矿的 Re 含量与全球各地的斑岩—矽卡岩型铜钼矿床中辉钼矿中 Re 含量接近 (Mao J W et al., 1999, 2006; Berzina et al., 2005), 矿区内辉钼矿的高 Re 含量暗示了部分地幔物质参与了鸡笼山矽卡岩金矿床的成矿作用, 也表明鸡笼山金矿床的成矿物质可能源于壳幔混源。

5.2 成矿时代厘定

辉钼矿产出的地质特征、辉钼矿 Re-Os 年龄测定以及与成矿密切相关的侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄研究表明, 辉钼矿 Re-Os 年龄能够精确地代表硫化物的形成时代 (Suzuki et al., 1996; Selby et al., 2004; Mao J W et al., 2008)。本次研究鸡笼山矽卡岩金矿床中辉钼矿颗粒较细, 未受到失耦作用的影响, 获得的 5 件辉钼矿样品 Re-Os 同位素等时线年龄为 $148.6 \pm 1.5 \text{ Ma}$, 与样品模式年龄 $149.0 \pm$

1Ma 基本一致;辉钼矿与铜金矿密切共生,辉钼矿硫同位素来源相同,表明该等时线年龄可以准确代表鸡笼山金矿的成矿年龄。鸡笼山金矿床处于花岗闪长斑岩与围岩(大理岩)的接触带及其附近。鸡笼山岩体花岗闪长岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 151.6 ± 0.7 Ma (王建等, 2014), 与矿床中辉钼矿 Re-Os 同位素年龄 149.0 ± 1 Ma 基本一致,说明鸡笼山矽卡岩型金矿床在形成时代上与岩体近于同时形成,标志着两者之间有着密切的成因关系。

长江中下游地区矽卡岩型 Cu-Fe-Au 矿床分布于侵入岩与围岩的接触带上,成岩成矿为同一构造岩浆事件的产物 (Pan et al., 1999; Sun et al., 2003; Mao J W et al., 2006)。前人对鄂东南地区 Cu-Fe-Au 矿床的主要成矿时代(表 4)进行大量研究显示:该地区成矿应属于同一期成矿事件,若以最新地层年代代表白垩纪和侏罗纪以 145.5 ± 4.0 Ma 为分界线 (Gradstein et al., 2004) 来判断,鸡笼山金矿床矿化于晚侏罗世—早白垩世,属燕山晚期中酸性岩浆与

相关热液上侵定位的产物,是长江中下游成矿带早白垩世多金属成矿事件的一部分。

5.3 构造背景

如前文所述,鸡笼山矽卡岩金矿床在时间和成因上均与花岗闪长斑岩密切相关,成岩成矿形成于同一构造背景。鄂东南地区位于长江中下游多金属成矿带的重要组成部分,大多数学者认为该地区矽卡岩型铜铁金矿床形成于岩石圈伸展构造背景 (Zhai Y M et al., 1996; Mao J W et al., 2006; 谢桂青等, 2008b), 同时古太平洋板块俯冲对长江中下游地区的影响有待进一步研究探讨特别是岩石圈伸展的时限和深部过程。

孙卫东等 (2008) 推测约在 145~125Ma 期间,洋中脊俯冲到长江中下游,并且可能形成板片窗,是形成该成矿带及其相关岩体的主要原因。毛景文等 (2008) 认为晚侏罗世到早白垩世,华北与华南两大板块运动的不协调性可能暗示了在 144~130Ma 之间沿长江中下游地区曾经历过俯冲板片的撕裂过

表 4 鄂东南地区 Cu-Au-Fe-Mo 矿床同位素年龄精测数据

Table 4 Precise age data of the Cu-Au-Fe-Mo deposits in southeast Hubei province

矿床名称	样品	测试方法	年龄 (Ma)
鸡笼山(铜)金矿床	矽卡岩矿石中辉钼矿	3 件样品 Re-Os 同位素等时线年龄,模式年龄为 $148.9 \pm 2.2 \sim 150.1 \pm 2.1$ Ma	149.5 ± 1.2
铁山铁矿床	磁铁矿矿石中的金云母	金云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄	140.9 ± 1.2
程潮铁矿床	磁铁矿矿石中的金云母	金云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄	132.6 ± 1.4
金山店铁矿床	磁铁矿矿石中的金云母	金云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄	131.6 ± 1.2
铜绿山(铁金)铜矿床	磁铁矿矿石中的金云母	金云母的 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 年龄	140.3 ± 1.1
铜绿山(铁金)铜矿床	矽卡岩化花岗闪长岩中的含铜辉钼矿	5 件样品 Re-Os 同位素等时线年龄,模式年龄为 $136.3 \pm 1.9 \sim 138.1 \pm 1.8$ Ma	137.3 ± 2.4
鸡冠嘴(铜)金矿床	方解石、黄铜矿、钾长石和辉钼矿共生	5 件样品 Re-Os 同位素等时线年龄,模式年龄为 $137.1 \pm 1.9 \sim 138.8 \pm 1.9$ Ma	138.2 ± 2.2
丰山洞铜多金属矿床	花岗闪长斑岩中辉钼矿	1 件样品 Re-Os 同位素等时线年龄,模式年龄为 144.0 ± 2.1 Ma	144.0 ± 2.1
阮家湾钨铜钼矿床	花岗闪长斑岩中辉钼矿	1 件样品 Re-Os 同位素等时线年龄,模式年龄为 143.6 ± 1.7 Ma	143.6 ± 1.7
千家湾铜金矿床	矽卡岩矿石中辉钼矿	1 件样品 Re-Os 同位素等时线年龄,模式年龄为 137.7 ± 1.7 Ma	137.7 ± 1.7
铜山口铜钼矿床	钾化带和绢云母化蚀变带中辉钼矿	2 件样品 Re-Os 同位素等时线年龄,模式年龄为 143.5 ± 1.7 Ma~ 142.3 ± 1.8 Ma	142.9 ± 1.8
城门山铜矿床	石英脉中辉钼矿	5 个样品 Re-Os 等时线年龄,模式年龄范围为 $139.3 \sim 144.2$ Ma	141 ± 3
	石英斑岩中浸染状辉钼矿	6 个样品 Re-Os 等时线年龄,模式年龄范围为 $136.4 \sim 144.0$ Ma	137 ± 3

数据来源:本文;吴良士等,1997;谢桂青等,2006,2008a,2009;赵海杰,2010。

程。谢桂青等(2008b)通过对鄂东南地区的侵入岩年代学和成因研究认为该地区存在两期重要岩浆活动,早期侵入岩具有高 Sr 低 Y 和无负钨异常,暗示当时地壳较厚;而晚期侵入岩具有低 Sr 高 Y 和负钨异常,表明岩石圈已明显减薄,表明岩石圈已明显减薄(Xie G Q et al., 2008)。因此鄂东南地区晚侏罗世砂卡岩金矿床可能与岩石圈减薄事件具有密切的成因联系。

6 结论

(1) S 同位素和辉钼矿中 Re 含量暗示鸡笼山金矿床的成矿物质可能源于壳幔混源,反映其成矿物质具有岩浆来源的特征。

(2) 鸡笼山金矿床辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 148.6 ± 1.5 Ma, 结合矿物共生组合和铜金相关性,暗示辉钼矿年龄基本上能代表鸡笼山砂卡岩金矿床的成矿年龄;该成矿年龄与成矿岩体 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(151 ± 1 Ma)较为一致,表明两者之间有着密切的成因关系,暗示鸡笼山金矿床属于燕山晚期中酸性岩浆与相关热液上侵的产物,其形成于岩石圈伸展构造背景。

致谢:野外地质工作期间得到了中国黄金集团鸡笼山金矿总工杨庆雨、地测部部长熊伟及地质组王昆、谢涛、徐立奎等同志的大力支持和帮助;中国地质科学院国家地质实验室测试中心杜安道老师、李超老师,核工业地质实验中心刘牧老师及实验人员在论文实验过程中给予了热情的指导和帮助;审稿专家给论文提出了许多建设性的意见,在此一并致以谢忱!

参 考 文 献

- 闭忠敏,杨松. 2008. 鸡笼山砂卡岩金(铜)矿床地质矿产特征、物质来源及成矿机制研究. 矿产与地质, 22(6): 496~502.
- 常印佛,刘湘培,吴言昌. 1991. 长江中下游铁铜矿成矿带. 北京:地质出版社, 1~379.
- 贾宝剑. 2012. 湖北省阳新县鸡笼山金铜矿床成因与找矿方向研究. 北京:中国地质大学.
- 黎彤,倪守斌. 1990. 地球和地壳的化学元素丰度. 北京:地质出版社, 10~25.
- 孙卫东,凌明星,汪方跃,丁兴,胡艳华,周继彬,杨晓勇. 2008. 太平洋板块俯冲与中国东部中生代地质事件. 矿物岩石地球化学通报, 27: 218~225.
- 毛景文,张作衡,张招崇,杨建民,王志良,杜安道. 1999. 北祁连山小柳沟钨钼矿床 Re-Os 同位素测年及其意义. 地质论评, 45(4): 412~417.
- 毛景文,谢桂青,郭春丽,袁顺达,程彦博,陈毓川. 2008. 华南地区中生代主要金属矿床时空分布规律和成矿环境. 高校地质学报, 14: 510~526.
- 毛景文,邵拥军,谢桂青,张建东,陈毓川. 2009. 长江中下游成矿带铜陵矿集区铜多金属矿床模型. 矿床地质, 28(2): 109~119.
- 瞿泓滢,王浩琳,裴荣富,姚磊,王永磊,郑志刚. 2012. 鄂东南地区与大型砂卡岩型铁矿床有关的铁山和金山店岩体的锆石 LA-ICP-MS 年龄和 Hf 同位素组成及其地质意义. 岩石学报, 28(1): 147~165.
- 舒全安,陈培良,程建荣. 1992. 鄂东铁铜矿产地质. 北京:冶金工业出版社, 1~510.
- 舒广龙. 2004. 湖北丰山矿田成矿地质背景及斑岩成矿系列与微细浸染金矿. 长沙:中南大学: 64~65.
- 王建,谢桂青,姚磊,朱乔乔,李伟. 2014. 鄂东南鸡笼山砂卡岩型金矿床花岗岩闪长斑岩的成因:地球化学和锆石 U-Pb 年代学约束. 矿床地质, 33(1): 137~152.
- 伍超群,杨洪之. 1993. 鸡笼山砂卡岩型金铜矿床地球化学特征及成矿模式. 地质与勘探, 29(8): 52~57.
- 吴良士,邹晚秋. 1997. 江西城门山铜矿铼钼同位素年龄研究. 矿床地质, 16(4): 376~381.
- 谢桂青,毛景文,李瑞玲,张祖送,赵维超,屈文俊,赵财胜,魏世昆. 2006. 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. 矿床地质, 25(1): 43~52.
- 谢桂青,李瑞玲,蒋国豪,赵财胜,侯可军. 2008a. 鄂东南地区晚中生代侵入岩的地球化学和成因及对岩石圈减薄时限的制约. 岩石学报, 24(8): 1703~1714.
- 谢桂青,毛景文,李瑞玲,蒋国豪,赵财胜,赵海杰,侯可军,潘怀军. 2008b. 鄂东南地区大型砂卡岩铁矿床金云母 ^{40}Ar - ^{39}Ar 同位素年龄及其构造背景初探. 岩石学报, 24: 1917~1927.
- 谢桂青,赵海杰,赵财胜,李向前,侯可军,潘怀军. 2009. 鄂东南铜绿山矿田砂卡岩型铜铁金矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义. 矿床地质, 28(3): 227~239.
- 徐耀通. 1992. 论鸡笼山金铜矿床成矿地球化学特征初探. 地质与勘探, 28: 80~81.
- 徐耀明,蒋少涌,朱志勇,周巍,孔凡斌,孙明志. 2012. 九瑞矿集区山上湾矿区石英闪长玢岩和花岗闪长斑的年代学、地球化学及成矿意义. 岩石学报, 28(10): 3306~3324.
- 薛迪康,葛宗侠,张宏泰,胡惠民,杨明银. 1997. 鄂东南铜金矿床成矿模式与找矿模型. 武汉:中国地质大学出版社, 161~169.
- 翟裕生,姚书振,林新多. 1992. 长江中下游地区铁铜(金)成矿规律. 北京:地质出版社, 1~120.
- 张轶男. 1999. 长江中下游及其邻区重要含金(铜)砂卡岩矿床地质地球化学特征. 北京:中国地质科学院.
- 张振儒,孙伟. 1989. 方铅矿中次显微金的电子显微镜研究. 地质与勘探, 5: 40~41.
- 赵海杰. 2010. 湖北铜绿山砂卡岩型铜铁矿床地球化学及成矿机制. 北京:中国地质科学院.
- 周涛发,范裕,袁峰. 2008. 长江中下游成矿带成岩成矿作用研究进展. 岩石学报, 24(8): 1665~1678.
- 周询若,任进. 1994. 长江中下游中生代花岗岩. 北京:地质出版社, 1~118.

- Berzina A N, Sotnikov V I, Economou-Eliopoulos M and Demetriou G E. 2005. Distribution of rhenium in molybdenite from porphyry Cu-Mo and Mo-Cu deposits of Russia (Siberia) and Mongolia. *Ore Geology Reviews*, 26(1-2): 91~113.
- Du A D, He H L, Yin N W, Zou X Q, Sun Y L, Sun D Z, Cen S Z and Qu W J. 1995. A study of the Rhenium-Osmium geochronology of molybdenites [J]. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 8: 171~181.
- Du Y S, Qin X L and Tian S H. 2004. Mesozoic magmatic to hydrothermal process in the Tongguanshan ore field, Tongling, Anhui Province, China; Evidence from xenoliths and their hosts. *Acta Petrologica Sinica*, 20(2): 339~350.
- Gradstein F M, Ogg J G, Smith A G, Bleeker W and Laurant L J. 2004. A new geologic time scale, with special reference to Precambrian to Neogene. *Episodes*, 27: 83~100.
- Li J W, Pei R F, Zhang D Q, Mei Y X, Zang W S, Meng X G, Zeng P S, Li T J and Di Y J. 2007. Geochemical characteristics of the Yanshanian intermediate-acid intrusive rocks in the Tongling mineralization concentration area, Anhui province, and their geological implications. *Acta Geoscientia Sinica*, 28(1): 11~22.
- Li J W, Zhao X F, Zhou M F, Ma C Q, de Souza Z S and Vasconcelos P. 2009. Late Mesozoic magmatism from Daye region, Eastern China: U - Pb ages, petrogenesis and geodynamic implications. *Contrib. Mineral. Petrol*, 157: 383~409.
- Ludwig K. 1999. *Isotope/Ex, version 2.0: A geochronological toolkit for Microsoft Excel*. Geochronology Centre, Berkeley, Special Publication 1a.
- Mao J W, Zhang Z C, Zhang X H and Du A D. 1999. Rhenium-osmium isotope dating of molybdenite in the Xiaoliugou W(Mo) deposit in North Qilianshan Mountains and its geological significance. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 63: 1815~1818.
- Mao J W, Wang Y T, Lehmann B, Yu J J, Du A D, Mei Y X, Li Y F, Zang W S, Stein H J and Zhou T F. 2006. Molybdenite Re-Os and albite $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of Cu-Au-Mo and magnetite porphyry systems in the Yangtze River valley and metallogenetic implications. *Ore Geology Reviews*, 29: 307~324.
- Mao J W, Xie G Q, Bierlein F, Qu W J, Du A D, Ye H S, Pirajno F, Li H M, Guo B J and Li Y F. 2008. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 72: 4607~4626.
- Mao J W, Franco Pirajno, Nigel Cook. 2011. Mesozoic metallogeny in East China and corresponding geodynamic settings—An introduction to the special issue. *Ore Geology Reviews*, 43: 1~7.
- Pan Y and Dong P. 1999. The Lower Changjiang (Yangzi/Yangtze River) metallogenic belt, east China: Intrusion and wall rock-hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits. *Ore Geology Reviews*, 15: 177~242.
- Selby D and Creaser R A. 2004. Macroscale NTIMS and microscale LA-MC-ICP-MS Re-Os isotope analysis of molybdenite: Testing spatial restrictions for reliable Re-Os age determinations, and implications for the decoupling of Re and Os within molybdenite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 68: 3897~3908.
- Shirey S B and Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis. *Anal. Chem.*, 67: 2136~2141.
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Hannah J L and Schersten A. 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: How and why it works. *Terra Nova*, 13: 479~486.
- Sun W D, Xie Z and Chen J F. 2003. Os-Os dating of copper and molybdenum meosits along the middle and lower reaches of the Yangtze River, China. *Economic Geology*, 98: 175~180.
- Selby D and Creaser R A. 2004. Macroscale NTIMS and microscale LA-MC-ICP-MS Re-Os isotopic analysis of molybdenite: Testing spatial restrictions for reliable Re-Os age determinations, and implications for the decoupling of Re and Os within molybdenite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 68: 3897~3908.
- Suzuki K, Shimizu H and Masuda A. 1996. Re-Os dating of molybdenites from ore deposits in Japan: Implication for the closure temperature of the Re-Os system for molybdenite and the cooling history of molybdenum ore deposits. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60: 3151~3159.
- Xie G Q, Mao J W, Li R L, et al. 2007. Re-Os molybdenite and Ar-Ar phlogopite dating of Cu-Fe-Au-Mo (W) deposits in southeastern Hubei, China. *Mineralogy and Petrology*, 90(3-4): 249~270.
- Xie G Q, Mao J W, Li R L and Bierlein F P. 2008a. Geochemistry and Nd-Sr isotopic studies of Late Mesozoic granitoids in the southeastern Hubei Province, Middle-Lower Yangtze River belt, eastern China; Petrogenesis and tectonic setting. *Lithos*, 104: 216~230.
- Xie G Q, Mao J W, Zhao H J. 2011a. Zircon U-Pb geochronological and Hf isotopic constraints on petrogenesis of Late Mesozoic intrusions in the southeast Hubei Province, Middle-Lower Yangtze River belt (MLYRB), East China. *Lithos*, 125: 693~710.
- Zhai Y S, Xiong Y Y, Yao S and Lin X D. 1996. Metallogeny of copper and iron deposits in the eastern Yangtze Carton, east-central China. *Ore Geology Review*, 11: 229~248.
- Zhao Y M, Zhang Y N and Bi C S. 1999. Geology of gold-bearing skarn deposits in the Middle and Lower Yangtze River valley and adjacent regions. *Ore Geology Review*, 14: 227~240.

Re-Os Dating of Molybdenite from the Jilongshan Skarn Au Deposit in Southeast Hubei Province, Middle-Lower Yangtze River Belt and Its Tectonic Significance

WANG Jian^{1,2)}, XIE Guiqing²⁾, CHEN Fenghe¹⁾, ZHU Qiaoqiao²⁾, LI Wei²⁾, ZHANG Zhiyuan¹⁾

1) *Institute of Prospecting Technology, Hebei Mine Bureau, Yanjiao, Hebei, 065200;*

2) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

Abstract

Southeast Hubei Province is one of the most important part of the Cu-Au-Fe-Mo metallogenic belt in the middle-lower Yangtze River in China, the Jilongshan Au deposit is a large skarn gold deposit in this area. This paper use Re-Os isotope dating method for the determination of timing of the Jilongshan gold deposit. The molybdenite Re-Os isotopic model age range from 147.7 ± 2.4 to 151.6 ± 4.02 Ma with an isochron age of 148.6 ± 1.5 Ma, which is almost similar to zircon SHRIMP U-Pb age of 151.6 ± 0.7 Ma of granodiorite porphyry in the Jilongshan Au skarn deposit. These data are also consistent with skarn Cu-Fe mineralization age in Southeast Hubei. The Jilongshan skarn Au deposits may be formed in lithosphere extension tectonic setting. Sulfur isotope values are $-2.5\% \sim 5.5\%$ with an mean value of 2.84% , reflecting that the characteristics ore-forming material originated from magmatic origin. The content of Re in molybdenite is $174.3 \times 10^{-6} \sim 8714 \times 10^{-6}$, with an average value of 476.2×10^{-6} , indicating that the sources of ore-forming are derived from a mixture of crust and mantle material.

Key words: molybdenite; Re-Os isotopic dating; sulfur isotope; Jilongshan Au deposits; southeastern Hubei