

东秦岭东段新发现的沙坡岭细脉浸染型钼矿地质特征、Re-Os 同位素年龄及其地质意义

苏捷¹⁾, 张宝林¹⁾, 孙大亥¹⁾, 崔敏利¹⁾, 屈文俊²⁾, 杜安道²⁾

1) 中国科学院地质与地球物理研究所矿产资源研究重点实验室, 北京, 100029;

2) 国家地质实验测试中心, 北京, 100037

内容提要: 豫西洛宁沙坡岭钼矿床位于华北克拉通南缘东秦岭钼矿带东段, 是新近发现的赋存于太古宇太华群变质岩中的细脉浸染型钼矿床。本文对其地质特征进行了研究, 并初步测定了1个辉钼矿样品的 Re-Os 同位素年龄, 获得模式年龄为 126.8 ± 1.7 Ma, 表明沙坡岭钼矿形成于燕山期, 接近金堆城、雷门沟钼矿的形成时代, Re 同位素含量显示其地幔来源的特征。沙坡岭钼矿形成机制错综复杂, 有待进一步研究, 特别是深部钻孔工程验证工作, 对于验证深部是否隐伏着与成矿相关的斑岩体、储量更大的斑岩型钼矿有着重要作用, 找矿潜力巨大。

关键词: Re-Os 同位素; 钼矿; 东秦岭; 沙坡岭; 燕山期

东秦岭是华北地台南缘秦岭-大别山贵金属-多金属成矿带的重要组成部分, 这里是中国著名的 Mo、W、Au 等多金属成矿带, 产出 30 余个(超大型)、中型钼(钨)多金属矿床, 钼储量约占全国总储量一半以上。东秦岭钼矿床主要集中分布于陕西金堆城-黄龙铺地区和河南栾川南泥湖-三道庄-上房沟地区, 以及新近发现的东沟钼矿床、汤家坪钼矿床等。这些钼矿床均形成于中生代, 以斑岩-矽卡岩型为特色, 围岩主要为元古宙地层。最近, 我们与洛阳中扩富盈矿业有限公司合作, 在熊耳山地区太古宇太华群变质岩中新发现了沙坡岭细脉浸染型钼矿床。对该钼矿正规的地质勘查工作始于 2006 年, 中国科学院地质与地球物理研究所科技人员在豫西沙坡岭地区开展了系统的地质调查、地面高精度磁测、高密度电法和偏提取化探测量等物探化探工作, 获得了一大批找矿信息。通过局部的探槽、坑道、钻孔等工程控制, 已获得 (333)+(334) 级别钼矿石量 1063.67×10^4 t, 金属量 8461 t, 平均品位 0.080%, 为中型钼矿床。考虑到矿区深部找矿远景及地表有待工程验证的多个异常, 推测该矿有进一步扩展为大型规模的远景。

沙坡岭钼矿的研究程度较低, 尤其是其成矿类

型和成矿时代尚不清楚。为此, 笔者对沙坡岭钼矿地质特征进行了研究, 初步测定了该矿床辉钼矿的 Re-Os 年龄, 并对其地质意义进行了探讨。

1 沙坡岭钼矿床地质特征

1.1 地质背景与岩石学特征

研究区位于华北陆块的南缘, 东秦岭熊耳山西段北缘, 处于花山岩体与太华群变质岩的外接触带(图 1), 横跨龙脖-花山背斜, 背斜轴部为太古宇太华群片麻岩, 两翼为下元古界熊耳群火山岩, 轴向北东东, 约 $70^\circ \sim 80^\circ$ 方向, 长约 75 km。研究区北边有洛宁山前大断裂, 南边有康山-七里坪蚀变构造带, 受它们次级构造影响, 区内断裂构造发育, 多数呈北东东向和北东向。在研究区主要发育 4 条北东向近似平行的断层(图 1), 倾向北西, 倾角大约 $70^\circ \sim 80^\circ$ 。破碎带内发育不同程度糜棱岩化, 有花岗质脉体侵入, 蚀变强烈, 对控矿起着重要的作用。

研究区出露地层岩性较单一, 主要为太古宇太华群, 由一套中高级变质岩及少量混合岩组成, 主要岩性为角闪斜长片麻岩和斜长角闪岩及少量黑云斜长片麻岩。南侧是燕山期侵入的花山岩体, 主要岩性为黑云母花岗岩、斑状黑云母花岗岩、黑云母二长

注: 本文为国家“十一五”科技支撑计划重大项目二级课题(编号 2006BAB01A02)和国家重点基础研究规划“973”项目二级课题(编号 2006CB403507)联合资助的部分成果。

收稿日期: 2009-06-06; 改回日期: 2009-09-19; 责任编辑: 周健。

作者简介: 苏捷, 1984 年生。硕士研究生, 矿床学方向。通讯作者: 张宝林, 1963 年生。研究员, 长期从事隐伏矿床定位预测研究。Email: blzhang@mail.iggcas.ac.cn。

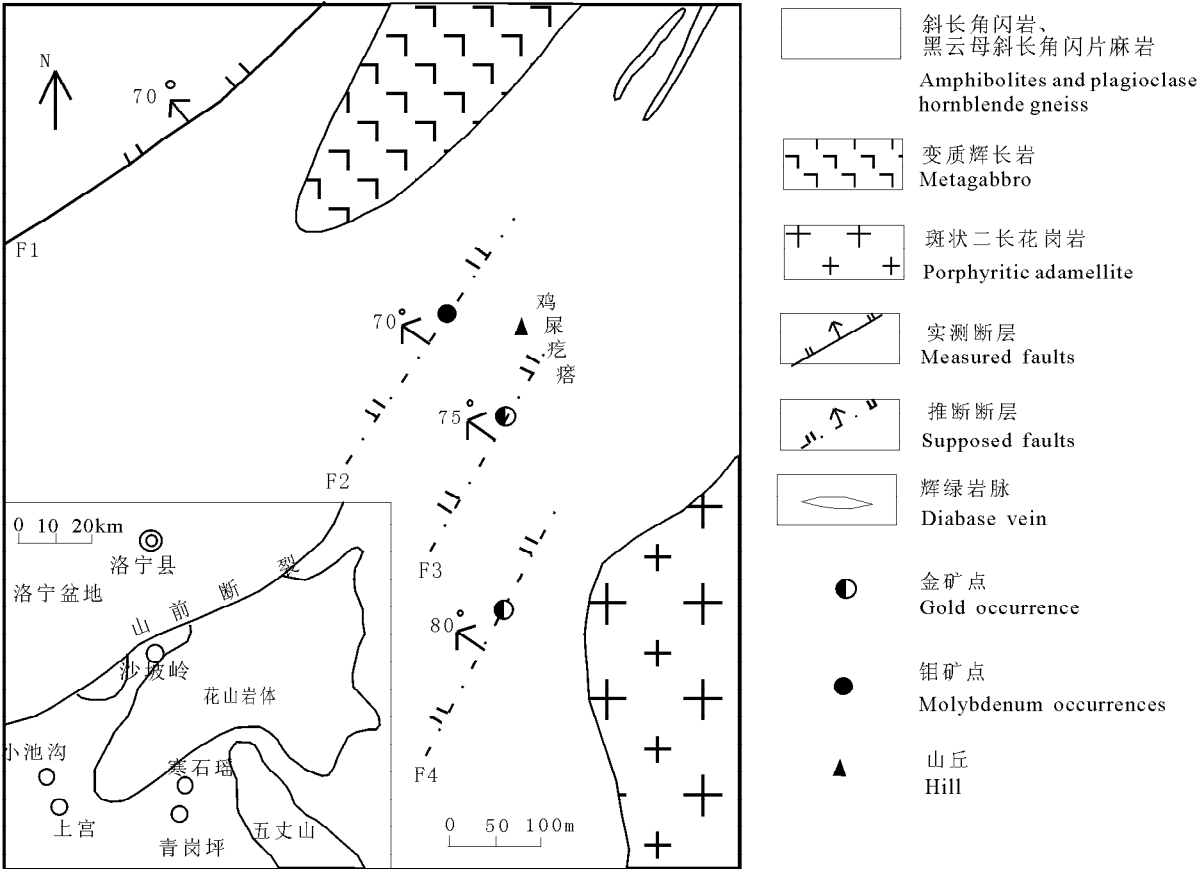


图 1 东秦岭东段沙坡岭矿区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of Shapoling orefield in Eastern Part of the Eastern Qinling Mountains

花岗岩。区内分布多条北东走向呈平行状的花岗质岩脉及辉绿岩脉。以下是矿区地层以及侵入岩的岩石学特征：

(1) 角闪斜长片麻岩：柱粒状变晶结构，片麻状构造。主要组成矿物斜长石约 50%，呈他形粒状，粒径 0.1~0.5 mm，角闪石约 10%~15%，呈他形粒状，粒径 0.1~0.5 mm，少量为 0.5~1 mm，定向排列，局部被阳起石交代；透辉石 1%~2%，他形粒状，定向排列，常被角闪石交代；石英 20%~25%，他形粒状，粒径 0.1~0.5 mm，部分 0.5~2.5 mm，镶嵌状分布。岩石中含少量磁铁矿、榍石、绿泥石等矿物。

(2) 含石榴角闪斜长片麻岩：鳞片粒状变晶结构，片麻状构造。斜长石约 55%~60%，呈他形粒状，少数呈半自形板状，粒径 1~4 mm，具定向性，局部被钾长石交代；角闪石约 10%~15%，呈他形粒状，粒径 0.1~0.5 mm，黑云母含量 5%~10%，呈片状，大小 0.1~0.5 mm。角闪石与黑云母往往形成集合体呈透镜、条带状定向分布。石英约 20%~25%，他形粒状，波状消光。石榴子石约 5%~10%，呈半自形粒状，集合体形成“猫眼”形态，直径

可达 1~2 cm，一般达 2~8 cm，副矿物可见少量磁铁矿、磷灰石、绢云母等。

(3) 斜长角闪岩：暗灰色—灰黑色，粒状变晶结构，块状或片麻状构造。岩石主要由斜长石和角闪石组成，斜长石约 35%~40%，呈他形粒状、半自形板状，粒径 0.05~0.2 mm，个别 0.5~2 mm，常定向分布；角闪石约 60%~65%，局部达 70%，呈他形柱状，粒径 0.05~0.2 mm，或 1~2 mm，常定向分布。少见黑云母、磁铁矿、磷灰石、褐铁矿等。岩石中常见长英质网脉，总量达 20%~25%。

(4) 古元古代变辉长岩($\cup_2^1$)：出露于矿区大部，一般规模较小，平面形态呈椭圆形、不规则状。岩体主要是顺层侵入，局部斜切层理，与区域构造线方向一致，岩体产状主要为岩床、岩株及岩饼状。岩石多为辉绿色、暗绿色，粒状变晶结构，变余辉长结构，块状、片麻状构造。矿物成分主要为斜长石、辉石、普通角闪石等。

(5) 中生代燕山期花山岩体：位于矿区东部，东延出图。区域上呈巨大的岩基产出，平面形态为近东西向椭圆形，侵位于新太古代太华群，接触面外

倾,界面呈不规则港湾状。岩性为含角闪黑云二长花岗岩,呈浅肉红色,风化后呈灰白色,具似斑状结构,块状构造。斑晶粒径 $9\times 5\sim 13\times 20\text{ mm}$,基质粒径 $1.2\times 1.9\sim 6.5\times 9.5\text{ mm}$ 。斑晶主要为微斜条纹长石,含量 $30\%\sim 35\%$;基质为斜长石 $40\%\sim 45\%$,石英 15% ,角闪石 $4\%\sim 5\%$,黑云母 $3\%\sim 4\%$,微斜条纹长石 $3\%\sim 5\%$ 。

1.2 矿化蚀变特征

在鸡屎疙瘩附近(图 1),已发现一定规模的钼矿化,有多条近于平行的矿脉,恰好位于侵入体与围岩的接触带,越往深部越富集,矿脉越清晰。它受 F_2 破碎带控制(图 1),矿化不连续,呈细脉—细脉浸染状或者斑点状,矿石品位中等,露头长约 30 m ,单脉厚约 $0.1\sim 0.5\text{ m}$,矿石矿物以辉钼矿、黄铁矿为主,次要矿物主要是方铅矿、磁铁矿、黄铜矿。伴随的围岩蚀变有硅化、绿帘石化、绢云母化、褐铁矿化,地表可见铁钼华。

沙坡岭钼矿床位于鸡屎疙瘩附近的钼矿化带中。矿区内有多条采矿巷道和 10 余个钻孔。通过对采矿巷道和钻孔岩芯中矿体的观察,发现容矿岩石为角闪斜长片麻岩、斜长角闪片麻岩、黑云斜长片麻岩。矿化对岩性无选择性,与容矿岩石的物理性质、裂隙发育程度有关。岩石裂隙越发育,矿化越强。矿体围绕花山花岗斑岩体呈似层状展布,产状受花山花岗斑岩顶面的影响,有随岩体顶面的起伏变化而变化的特征。总体是以中部出露的岩体为中心,向南东方向倾斜,倾角一般 $40^\circ\sim 60^\circ$ 。因深部钻探工程控制不足,矿体向四周均未封闭。已控制矿体长 450 m ,宽 180 m ,面积 89192 m^2 。矿体最大假厚度 94 m (ZH401),一般 $30\sim 60\text{ m}$,平均 45 m 。厚度变化系数为 61.9% ,为稳定型。

钼矿和石英脉密切相关,主要呈星点状、细脉及网脉状沿石英细脉的两壁产出,少量星点状及细脉浸染于紧邻石英脉的围岩中(图 2)。同时,钼矿呈星点状、细脉及网脉状产出于绿帘石细脉的两壁。矿石类型有:细脉状矿石、细脉浸染状矿石、细脉—网脉状矿石、斑点—不规则团块状矿石。全区矿体平均品位:Mo 平均品位 0.080% 。品位变化与容矿岩石、矿体厚度无明显关系,其所处的空间位置有一定的影响。总体是:在平面上,矿体中部比两端富;在垂向上,亦有中间富,向顶板和底板渐贫的特征。矿化不连续,呈细脉、网脉—细脉浸染状或者斑点状,矿石品位中等,单脉厚约 $0.1\sim 0.5\text{ m}$ 。矿石矿物以辉钼矿、黄铁矿为主,次要矿物主要是方铅矿、磁铁矿、黄铜矿。脉

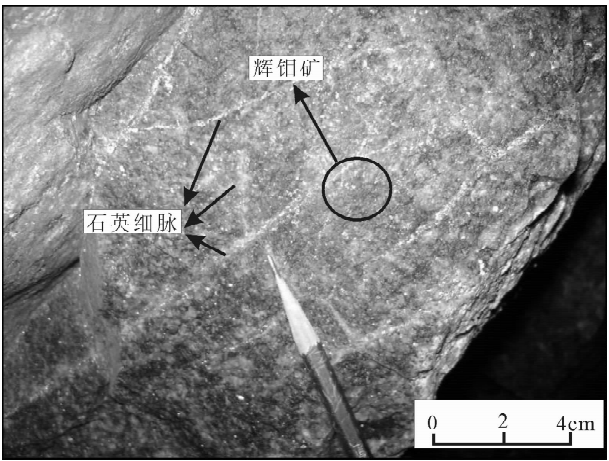


图 2 含辉钼矿石英细脉(摄于沙坡岭钼矿区采矿坑道壁)

Fig. 2 Molybdenite quartz vein in the Shapolin Mo deposit

石矿物有:石英、钾长石、石榴子石、透辉石、黑云母、楣石、磷灰石、方解石、绿帘石等。辉钼矿呈自形、半自形晶粒,以微细脉体分布。围岩蚀变组合(内带→外带)为:钾长石化、绢云母化带→硅化、钾长石化→硅化、钾长石化带→绿帘石化。矿化带自上而下垂直分带大致为:褐铁矿化带→钼矿化带。钼矿化带中,伴随有较多的黄铜矿化及黄铁矿化。岩体中钾化、绿帘石化和硅化普遍发育。

特别值得一提的是,在平硐深部一处发现有很强蚀变的斑岩露头,预示着深部可能隐伏着与成矿相关的斑岩体,隐伏储量更大的斑岩型钼矿。

2 样品的采集、处理流程及测试方法

本文用于挑选辉钼矿的矿石样品采自沙坡岭钼矿区 PD-03 采矿坑道中,样品均为辉钼矿石英脉。辉钼矿样品是采用特制工具直接从手标本上获取的,并且在实体显微镜下进行了仔细检查,每件辉钼矿样品的纯度(体积分数)均大于 98% ,晶体新鲜,无氧化,无污染,符合测试要求。

辉钼矿样品的铼-钼同位素分析是在国家地质实验测试中心铼-钼同位素年代学实验室完成的,样品的化学处理流程和质谱测定技术简述如下(Du et al., 2004; 杜安道等, 1994, 2001)。

准确称取所要分析的样品,通过长细颈漏斗加入到 Carius 管底部。缓慢加液氮到装有半杯乙醇的保温杯中,调节温度到 $-50\sim -80^\circ\text{C}$ 。把装好样的 Carius 管放置到该保温杯中,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 4 mL $c(\text{HCl})$ 为 10 mol/L 的 HCl,4 mL $c(\text{HNO}_3)$ 为 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 40 mL 水将管中溶液转入蒸馏瓶中。蒸馏分离 Os 的过程大体如下:于 105~110℃条件下蒸馏 50 min,用 10 mL 水吸收蒸出的 OsO_4 ,用于 ICPMS(等离子体质谱仪)测定钨同位素比值。将蒸馏残液倒入 150 mL 烧杯中待分离铼。萃取分离铼的过程如下:将第一次蒸馏残液置于电热板上,加热近干。加少量水,再加热近干。重复两次以降低酸度。加入 10 mL $c(\text{NaOH})=5$ mol/L 的 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 溶液到分液的漏斗中,加入 10 mL 丙酮,振荡 5 min,萃取铼,然后弃去水相。加 2 mL $c(\text{NaOH})=5$ mol/L 的 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 150 mL 已加有 2 mL 水的烧杯中。在电热板上 50℃加热以蒸发丙酮,加热溶液至干,然后加数滴浓硝酸和 30%过氧化氢,加热

蒸干以除去残存的钨。用数毫升稀 HNO_3 溶解残渣,稀释到硝酸浓度为 2%,备 ICP-MS 测定铼同位素比值。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(屈文俊等,2003)。采用美国 TJA 公司生产的 TJA PQ ExCell ICPMS 仪测定同位素比值。对于铼的测定,选择质量数 185、187,用 190 监测钨。对于钨的测定,选择质量数为 186、187、188、189、190、192,用 185 监测铼。计算所用衰变常数为 $\lambda(^{187}\text{Re})=1.66\times10^{-11}\text{a}^{-1}$ 。

3 测定结果

沙坡岭钼矿床辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄测定结果见表 1,沙坡岭钼矿床石英脉中的辉钼矿样品的模式年龄为 126.8 ± 1.7 Ma。表中误差为 2σ 。C 普 Os 是根据 Nier 值的 Os 同位素丰度,通过 $^{192}\text{Os}/^{190}\text{Os}$ 测量比计算得出, ^{187}Os 是 ^{187}Os 同位素总量。其中,Re 和 Os 含量的不确定度包括稀释剂标定误差、质谱测量误差、质量分馏校正误差和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 ^{187}Re 衰变常数 λ 的不确定度(1.02%),置信水平 95%。

表 1 沙坡岭钼矿部分矿石 Re-Os 同位素含量及模式年龄

Table 1 The content of Re-Os isotope and the model age of some molybdenite from Shapoling deposit

序号	样号	钼矿石类型	样重(g)	Re($\mu\text{g/g}$)	C 普 Os(ng/g)	$^{187}\text{Re}(\mu\text{g/g})$	$^{187}\text{Os}(\text{ng/g})$	模式年龄(Ma)
1	LS-10	细脉浸染状	0.01479	282.1 ± 2.3	0.054 ± 0.161	177.3 ± 1.5	375.0 ± 2.9	126.8 ± 1.7

注:①测试单位:国家地质实验测试中心,分析者:屈文俊、曾法刚;② 模式年龄 $t=\ln(1+^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re})/\lambda$ 计算,其中衰变常数 $\lambda=1.666\times10^{-11}\text{a}^{-1}$ 。

4 讨论

4.1 沙坡岭钼矿床辉钼矿 Re-Os 年龄的讨论

Re-Os 同位素定年方法是目前比较成熟的直接确定成矿年龄的定年方法之一。在辉钼矿、毒砂、含砷黄铁矿、含碳页岩等 Re-Os 同位素定年的测定对象中,辉钼矿是最理想的。该方法的 $\lambda^{187}\text{Re}$ 衰变常数 $=1.666\times10^{-11}\text{a}^{-1}$,适合于测定地球形成(约 4.5 Ga)以来成矿事件的年龄。

本次仅对一件辉钼矿样品进行了 Re-Os 年龄的测定,对成矿年龄作初步探讨。表 2 是东秦岭地区钼矿床 Re-Os 法成矿作用时间表,成矿时间范围 115.5~156 Ma,钼矿床形成于燕山期。同时对表中同一矿床同一次实验不同样品得出的年龄差进行了总结,发现它们之间的误差并不大,如东沟的 2 个辉钼矿样品(叶会寿等,2006),秋树湾 5 个辉钼矿样品(郭保健等,2006),模式年龄只相差 1~2 Ma,与

自身的误差相符合。个别模式年龄相差达到 10 Ma,如南泥湖 4 个辉钼矿样品(黄曲豪等,1994),这可能由于实验时间较早(1994 年),当时的实验技术精度较低,自身误差也达到了 ±10 Ma。近年来随着实验技术的提高,误差基本上在 ±3 Ma 以内。本次实验结果,沙坡岭钼矿床石英脉辉钼矿样品的模式年龄为 126.8 ± 1.7 Ma。本次采样、制样以及实验测试过程均正常,排除这些人为因素,我们认为本次实验的模式年龄在其误差范围内是可信的。沙坡岭钼矿形成于燕山期,接近金堆城、雷门沟钼矿的形成时代。

4.2 沙坡岭钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素提供的成因信息

毛景文等(Mao et al.,1999)在综合分析、对比了中国各种类型钼矿床中辉钼矿的 Re 含量后,总结认为从地幔到壳幔混源再到地壳,矿石中的含 Re 量成十倍地下降;从幔源—I型—S型花岗岩有

表 2 东秦岭地区钼矿床 Re-Os 法成矿年龄数据汇总

Table 2 Metallogenic ages of molybdenum deposits in East Qingling area

矿床	测试矿物	样品数	测试方法	年龄(Ma)	资料来源
东沟	辉钼矿	2	Re-Os	115.5±1.7	叶会寿等,2006
				116.5±1.7	叶会寿等,2006
金堆城	辉钼矿	3	Re-Os	129±7	黄典豪等,1994
				131±4	黄典豪等,1994
				139±3	黄典豪等,1994
	辉钼矿	不祥	Re-Os	139±3	杜安道等,1994
	辉钼矿	2	Re-Os	138.3±0.8	Stein et al.,1997
				138.4±0.8	Stein et al.,1997
石家湾	辉钼矿	1	Re-Os	138±8	黄典豪等,1994
雷门沟	辉钼矿	2	Re-Os	131.6±2.0	李永峰等,2006
				133.1±1.9	李永峰等,2006
三道庄	辉钼矿	2	Re-Os	147±6	黄典豪等,1994
				151±4	黄典豪等,1994
	辉钼矿	不祥	Re-Os	151±4	杜安道等,1994
				151±4	杜安道等,1994
	辉钼矿	3	Re-Os	144.5±2.2	李永峰等,2003
				145.4±2.0	李永峰等,2003
				145.0±2.2	李永峰等,2003
				145.0±2.2	李永峰等,2003
南泥湖	辉钼矿	4	Re-Os	146±5	黄典豪等,1994
				146±6	黄典豪等,1994
				156±8	黄典豪等,1994
				148±10	黄典豪等,1994
	辉钼矿	1	Re-Os	141.8±2.1	李永峰等,2003
				141.8±2.1	李永峰等,2003
上房沟	辉钼矿	2	Re-Os	143.8±2.1	李永峰等,2003
				145.8±2.1	李永峰等,2003
秋树湾	辉钼矿	5	Re-Os	146.3±1.6	郭保健等,2006
				148.0±2.2	郭保健等,2006
				146.5±1.7	郭保健等,2006
				145.6±1.8	郭保健等,2006
				146.3±1.6	郭保健等,2006

关的矿床,Re 含量从 $10^{-4} \rightarrow 10^{-5} \rightarrow 10^{-6}$ 发生变化。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)。

表 3 为东秦岭地区钼矿床辉钼矿 Re 含量统计表。其中,与幔源碳酸岩有关的黄龙铺钼(铅)矿辉钼矿的 Re 含量最高,为 $256.0 \times 10^{-6} \sim 633.1 \times 10^{-6}$,平均 428.36×10^{-6} (黄典豪等,1994);金堆城、南泥湖—三道庄、上房沟及雷门沟等斑岩-矽卡岩型钼矿床辉钼矿的 Re 含量为 $12.9 \times 10^{-6} \sim 53.7 \times 10^{-6}$,秋树湾斑岩-矽卡岩型钼矿床辉钼矿的 Re 含量为 $112.7 \times 10^{-6} \sim 180.0 \times 10^{-6}$,与源于下地壳的斑岩体有关(卢欣祥等,2002;李永峰等,2003;郭保健等,2006);小秦岭大湖和泉家峪石英脉型(钼)金矿床中辉钼矿的 Re 含量很低,大湖为 $1.531 \times 10^{-6} \sim 2.305 \times 10^{-6}$,泉家峪为 $5.382 \times 10^{-6} \sim 17.282 \times 10^{-6}$,可能反映了来自地壳的信息(李厚民

等,2007)。沙坡岭钼矿床石英脉辉钼矿 Re 含量为 $282.1 \pm 2.3 \mu\text{g/g}$,明显高于金堆城、南泥湖—三道庄、雷门沟、秋树湾、大湖等斑岩-矽卡岩型钼矿床中辉钼矿的 Re 含量,而与黄龙铺碳酸岩型钼矿床中辉钼矿的 Re 含量接近,都显示地幔来源的特征。

4.3 沙坡岭钼矿床与周边雷门沟斑岩型钼矿床的对比

豫西沙坡岭钼矿床的东南侧有雷门沟斑岩型钼矿床,它们在地理位置上最为接近。表 4 对这两个钼矿床进行了比较。这两个钼矿床的成矿年龄非常接近,并且与该带金堆城、南泥湖等其他大型钼矿床大致同时形成。沙坡岭钼矿床产于花山岩体西北侧,而雷门沟钼矿床产于花山岩体东南侧,花山花岗岩基的锆石 SHRMP U-Pb 年龄为 $132.0 \pm 1.6 \text{ Ma}$ (毛景文等,2005b),略晚于雷门沟斑岩体形成,而比沙坡岭钼矿床的形成要早。因此,雷门沟斑岩体不可能是花山花岗岩基分异的产物,雷门沟钼矿床的形成与花山岩体没有直接联系,它们更可能是同一地球动力背景下的产物。然而沙坡岭钼矿床的成矿年龄略晚于花山岩体,它的形成与花山岩体密切相关。两个钼矿床的辉钼矿 Re 含量表明它们的成矿物质来源不同,雷门沟钼矿床的成矿物质主要来源下地壳,但混有少量地幔组分(李永峰等,2006),沙坡岭钼矿床的成矿物质具有地幔来源的特征。沙坡岭钼矿床虽然在地理位置、形成时代上与雷门沟钼矿床接近,但是它们的成矿物质来源、矿床成因有着很大的区别,沙坡岭细脉浸染型钼矿床有着自己的特点。

4.4 沙坡岭钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄的地质意义

豫西沙坡岭钼矿床石英脉辉钼矿样品的 Re-Os 同位素模式年龄为 $126.8 \pm 1.7 \text{ Ma}$,Re 同位素含量指示了地幔来源的特征,故推测沙坡岭钼矿床成矿作用形成于早白垩世中晚期,那时受中国东部岩石圈减薄作用的影响,华北克拉通南缘发生了大规模伸展及变质核杂岩构造,导致沿小秦岭、崤山及熊耳山等地分布了近 EW 向的伸展构造,而在商-镇断裂带南侧则发育晚白垩世沉积。伸展作用伴随岩石圈减薄、太古宙变质核的隆升及大规模岩浆侵位,地幔流体大规模参与成矿作用(毛景文等,2005a),造成了小秦岭、熊耳山等地大规模金矿化及部分钼矿化,泉家峪金(钼)矿即是该期成矿事件的产物(李厚民等,2007)。推测沙坡岭钼矿也在这一构造背景下形成,成矿流体伴随岩浆活动上升,与太华群变质岩进行交代,形成细脉浸染型钼矿床。

表 3 东秦岭钼矿床及金(钼)矿床辉钼矿 Re 含量

Table 3 Re content of molybdenite from the East Qinling molybdenum deposits

矿床名称	矿床类型	样品数	Re(μg/g)		成矿年龄(Ma)	资料来源
			范围	平均值		
黄龙铺	碳酸岩脉型	5	256.0~633.1	428.36	230±7~220±5	黄典豪等,1994
金堆城	斑岩型	3	12.9~19.7	16.13	139±3~129±7	黄典豪等,1994
南泥湖一三道庄	斑岩-矽卡岩型	9	13.1~53.7	28.09	156±8~146±5	黄典豪等,1994
南泥湖一三道庄	斑岩-矽卡岩型	6	15.2~27.5	22.0	145.5±2.2~141.8±2.1	李永峰等,2003
上房沟	斑岩型	2	19.0~20.2	19.6	145.8±2.1~143.8±2.1	李永峰等,2004
雷门沟	斑岩型	2	18.4~25.9	22.15	136.2±1.5	李永峰等,2004
秋树湾	斑岩-矽卡岩型	6	112.7~180.0	151.8	147±4	郭保健等,2006
大湖	石英脉型	3	1.531~2.305	1.901	223.0±2.8~232.9±2.7	李厚民等,2007
泉家峪	石英脉型	2	5.382~17.282	11.332	129.1±1.6、130.8±1.5	李厚民等,2007

表 4 沙坡岭钼矿床与雷门沟钼矿床的比较

Table 4 The comparison with Shapoling Mo deposit and Leimengou Mo deposit

矿床	沙坡岭钼矿床	雷门沟钼矿床
地理位置	花山岩体西北侧	花山岩体东南侧
矿床类型	细脉浸染型	斑岩型
矿体赋存位置	花山岩体与太华群变质岩的外接触带	花山岩体东南侧的斑岩体与太华群变质岩的内外接触带
Re-Os 同位素年龄	126.8±1.7 Ma	132.4±1.9 Ma
辉钼矿 Re 含量	282.1±2.3 μg/g	18.4~25.9 μg/g
矿石构造	细脉状、细脉浸染状、细脉网脉状	浸染状、细脉浸染状、脉状

沙坡岭钼矿床位于花山岩体与太华群片麻岩的外接触带,成矿作用可能与围岩花山岩体有关。沙坡岭钼矿床的同位素年代学、地球化学特征还有待于进一步的研究,特别是深部钻孔工程,对于验证深部是否隐伏着与成矿相关的斑岩体以及储量更大的斑岩型钼矿有着重要的作用,找矿潜力巨大。

5 结论

- (1) 沙坡岭钼矿床为细脉浸染型,辉钼矿石英细脉赋存于太古宇太华群高级变质岩中。
- (2)通过辉钼矿 Re-Os 同位素分析,石英脉辉钼矿样品的模式年龄为 126.8±1.7 Ma,表明沙坡岭钼矿床形成于燕山期。
- (3)沙坡岭钼矿石英脉辉钼矿 Re 含量为 282.1±2.3 μg/g,显示地幔来源的特征。
- (4)沙坡岭钼矿床成矿作用形成于早白垩世中晚期,受到伸展作用的影响,伴随岩石圈减薄、太古代变质核的隆升及大规模岩浆侵位,地幔流体大规模参与成矿作用。其形成机制错综复杂,有待进一步研究,特别是深部钻孔工程验证工作,对于验证深部是否隐伏着与成矿相关的斑岩体、储量更大的斑

岩型钼矿有着重要作用,找矿潜力巨大。

致谢:感谢中国科学院地质与地球物理研究所刘铁兵老师、徐兴旺老师对原稿提出的修改意见。洛阳中扩富盈矿业有限公司对野外工作给予了大力支持,在此一并致谢。

参 考 文 献

杜安道,何红蓼,殷宁万,邹晓秋,孙亚利,孙德忠,陈少珍,屈文俊. 1994. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究. 地质学报, 68(4): 339~347.

杜安道,赵敏敏,王淑贤. 2001. Garius 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. 岩矿测试, 20(4): 247~252.

郭保健,毛景文,李厚文,屈文俊,仇建军,叶会寿,李蒙文,竹学丽. 2006. 秦岭造山带秋树湾铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义. 岩石学报, 22(9): 2141~2148.

黄典豪,吴澄宇,杜安道,何红蓼. 1994. 东秦岭地区钼矿床的铼-钨同位素年龄及其意义. 矿床地质, 13(3): 221~230.

李厚民,叶会寿,毛景文,王登红,陈毓川,屈文俊,杜安道. 2007. 小秦岭金(钼)矿床辉钼矿铼-钨定年及其地质意义. 矿床地质, 26(4): 417~424.

李永峰,毛景文,白凤军,李俊平,和志军. 2003. 东秦岭南泥湖钼(钨)矿田 Re-Os 及其地质意义. 地质论评, 49(6): 652~659.

李永峰,王春秋,白凤军,宋艳玲. 2004. 东秦岭钼矿 Re-Os 同位素年龄及其成矿动力学背景. 矿产与地质, 18(6): 571~578.

李永峰,毛景文,刘敦一,王彦斌,王志良,王义天,李晓峰,张作衡,郭保健. 2006. 豫西雷门沟斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 测年及其地质意义. 地质论评, 52(1): 122~131.

卢欣祥,于在平,冯有利,王义天,马维峰,崔海峰. 2002. 东秦岭深源浅成型花岗岩的成矿作用及地质构造背景. 矿床地质, 21(2): 168~178.

毛景文,李晓峰,张荣华,王义天,赫英,张作衡. 2005a. 深部流体成矿系统. 北京大地出版社, 1~383.

毛景文,谢桂青,张作衡,李晓峰,王义天,张长青,李永峰. 2005b. 中国北方大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景. 岩石学报, 21(1): 169~188.

叶会寿,毛景文,李永峰,郭保健,张长青,刘王君,闫全人,刘国印.

2006. 东秦岭东沟超大型斑岩钼矿 SHRIMP 锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义. 地质学报, 80(7): 1078~1088.

Du A D, Wu S Q, Sun D Z. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HL P and JDC. Geostandard and Geoanalytical Research, 28(1): 41~52.

Mao Jingwen, Zhang Z C, Zhang Z H. 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(11~12): 1815~1818.

Stein H J, Markey R J, Morgan J W. 1997. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the East Qinling molybdenum belt, Shaannxi Province, China. Economic Geology, 92: 827~835.

Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Hannab J L, Schersten A. 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite; how and why it works. Terra Nova, 13(6): 479~486.

Geological Features and Re-Os Isotopic Dating of Newly Discovered Shapoling
Veinlet-Disseminated Mo Deposit in the Eastern Section of East Qinling
Mountains and Its Geological Significance

SU Jie¹⁾, ZHANG Baolin¹⁾, SUN Dahai¹⁾, CUI Minli¹⁾, QÜ Wenjun²⁾, DU Andao²⁾

1) Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology and Geophysics, CAS, Beijing, 100029;
2) National Analytic Center of Geology, Beijing, 100037

Abstract

The Shapolin Mo deposit in Luoning, western Henan Province, is tectonically located at the eastern part of East Qinling molybdenum ore belt in the southern margin of the North China craton. It is a veinlet-disseminated type molybdenite deposit newly discovered in the hypometamorphic rocks of Archean Taihua Group. The research of geological features was carried out in this area. The Re-Os isotopic dating of one quartz vein sample yielded a model age of 126.8 ± 1.7 Ma. This indicates that the Shapoling molybdenum deposit formed mainly in the Yanshanian, the same as Jinduicheng and Leimengou Mo deposits. The content of Re isotope also shows its material mainly derived from upper mantle. Considering the complication of formation mechanism of the Shapoling molybdenum deposit, further research, especially deep drilling, is needed. It is of great significance to verify the existence of deep-concealed porphyry bodies and porphyry-type Mo ore field with large reserves and the potential of prospecting.

Key words: Re-Os isotopic dating; molybdenum deposit; East Qinling; Shapoling; Yanshanian