

文章编号 10258-7106(2007)04-0417-08

小秦岭金(钼)矿床辉钼矿铼-钨定年及其地质意义*

李厚民^{1,2}, 叶会寿^{1,2}, 毛景文^{1,2}, 王登红^{1,2}, 陈毓川³, 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 中国地质科学院成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;
3 中国地质科学院, 北京 100037; 4 国家地质实验测试中心, 北京 100037)

摘 要 最近在河南灵宝小秦岭地区大湖金矿及其附近的泉家峪含金石英脉中发现了具有工业价值的钼矿化。为了研究小秦岭金矿集中区钼矿的成矿时代, 笔者选取大湖金(钼)矿床及泉家峪石英脉型金钼矿体中的辉钼矿进行了 Re-Os 法同位素定年, 在大湖钼金矿石中获得 3 个辉钼矿样品的 Re-Os 模式年龄, 分别为 (223.0 ± 2.8) Ma, (223.7 ± 2.6) Ma 和 (232.9 ± 2.7) Ma; 泉家峪钼金矿石中 2 个辉钼矿样品的 Re-Os 模式年龄分别为 (129.1 ± 1.6) Ma 和 (130.8 ± 1.5) Ma。这些年龄数据表明, 该区的成矿作用不仅发生于燕山期, 而且还发生在印支期。与金堆城、黄龙铺等典型钼矿床不同, 大湖和泉家峪矿床中辉钼矿含铼很低, 可能表明它们的成矿物质来自壳源。

关键词 地球化学; Re-Os 同位素定年; 辉钼矿; 金矿床; 大湖; 泉家峪; 小秦岭

中图分类号: P618.65

文献标识码: A

Re-Os dating of molybdenites from Au (-Mo) deposits in Xiaoqinling gold ore district and its geological significance

LI HouMin^{1,2}, YE HuiShou^{1,2}, MAO JinWen^{1,2}, WANG DengHong^{1,2}, CHEN YuChuan³,
QU WenJun⁴ and DU AnDao⁴

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 Key Laboratory of Mineralization and Assessment of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 3 Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 4 National Analytic Center of Geology, Beijing 100037, China)

Abstract

Molybdenum mineralization with economic value was recently discovered in the Dahu gold deposit and its nearby Quanjiayu gold-bearing quartz veins in the Xiaoqinling gold ore district, Henan Province. For the purpose of studying the chronology of the molybdenum mineralization in this district, the authors purified molybdenite from the Dahu gold deposit and the Quanjiayu gold-bearing quartz veins. Re-Os dating of these molybdenite minerals yielded modal ages of (223.0 ± 2.8) Ma, (223.7 ± 2.6) Ma and (232.9 ± 2.7) Ma for the three samples from Dahu and (129.1 ± 1.6) Ma and (130.8 ± 1.5) Ma for the two samples from Quanjiayu. These results indicate that Au-Mo mineralization in the Xiaoqinling gold ore district took place not only at the Yanshanian stage but also at the Indo-Chinese stage. Different from things of Jinduicheng, Huanglongpu and other Mo deposits, the molybdenites from the Dahu and Quanjiayu deposits have a very low content of Re, showing a crustal

* 本文得到中国地质调查局《我国西部重要成矿区带矿产资源潜力评估》(1212010535804)、《中国成矿体系综合研究》(1212010634002)、《我国重要矿产和区域成矿规律研究》(1212010633903)和自然科学基金《华北及邻区晚中生代大规模成矿与岩石圈伸展耦合关系》(40434011)的资助

第一作者简介 李厚民, 男, 1962 年生, 博士, 研究员, 主要从事矿床学研究及成矿区划工作。Tel: 010-68999510; E-mail: lihoumin2002@163.com

收稿日期 2007-02-09; 改回日期 2007-04-05。张绮玲编辑。

source for ore-forming materials.

Key words: geochemistry, Re-Os isotopic dating, molybdenite, Au deposit, Dahu, Quanjiayu, Xiaoqinling

小秦岭太华群分布区是中国典型的金矿集中产地,以往没有在金矿区发现有意义的钼矿化。钼矿主要集中于其南侧元古代熊耳群中性火山岩广布的金堆城地区。近年来,随着金矿开采工作的进展,在一些金矿区相继发现了有工业意义的钼矿化。据大湖金矿工作人员面告,已在大湖金矿区单独圈定了钼矿体,查明钼资源储量已达中型规模。这不仅显示了在小秦岭金矿集中区寻找钼矿的巨大潜力,也为采用辉钼矿进行 Re-Os 同位素定年确定金矿及钼矿成矿时代提供了条件。前人采用 K-Ar 法、Ar-Ar 法、Rb-Sr 等时线法等多种方法对小秦岭地区金矿的成矿时代进行了研究(王义天等,2002;徐启东等,1998;胡正国等,1994;王秀璋等,1992;李华芹等,1993;黎世美等,1993;任富根等,1996;卢欣祥等,1999),测定对象为黑云母、绢云母、钾长石等脉石矿物,测得的年龄数据变化也比较大。金矿区的钼矿化发生于什么时代?其与金矿化是否同期?与金堆城地区的钼矿化是否同期?这些问题的解决对深化小秦岭地区金矿成矿规律、总结金矿集中区钼成矿规律、指导该区金、钼矿找矿工作均具有十分重要的理论和实际意义。为此,本文选取河南灵宝大湖金(钼)矿床及泉家峪石英脉型金钼矿体中的辉钼矿进行了 Re-Os 定年,并探讨了它们的地质意义。

1 大湖和泉家峪金矿地质概况及样品特征

大湖金矿床位于小秦岭北侧的山前地带,属小秦岭金矿田北矿带。区内出露地层主要为太古界太华群混合片麻岩、黑云斜长片麻岩,其次为条带状混合岩、斜长角闪片麻岩、斜长角闪岩,区域变质、混合岩化作用强烈,岩浆岩发育,主要为华山、文峪、娘娘山中生代花岗岩;区域构造以太华群周边的拆离断层为特征(图1)。矿区主要控矿构造为一组近 EW 向展布、向北缓倾的韧性剪切带及断层,组成各构造带的主要岩性为碎裂岩、糜棱岩、含金石英脉和矿化构造蚀变岩。矿区共发现大小矿体 26 个,金储量约 20 t,以含金石英脉为主,走向近 EW,倾向 N,厚度数米,金平均品位 6 g/t 左右,多赋存于 F5 矿化蚀变构造带中。围岩蚀变主要有钾长石化、钠长石化、硅化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化、绿泥石化等,其中黄铁矿化、绢云母化、硅化与金矿化的关系密切。矿床中辉钼矿呈浸染状、团块状产于含金石英脉(图2a)及钾长石化蚀变岩中。

泉家峪石英脉型钼金矿体产于文峪花岗岩中,脉宽约 1 m,黄铁矿、辉钼矿呈浸染状分布于白色石英脉中(图2b)。

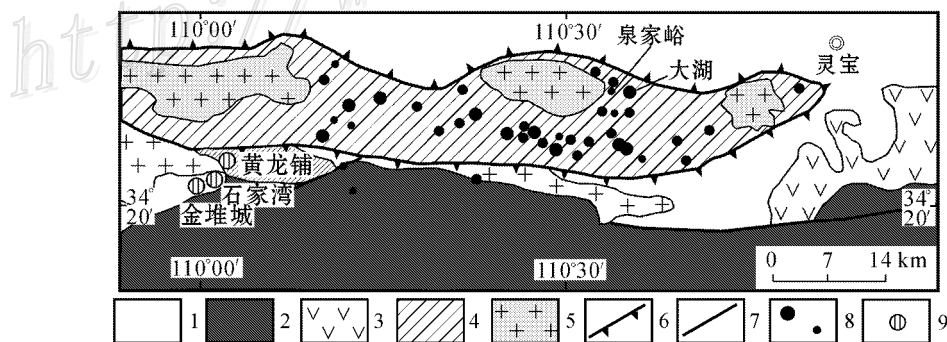


图1 小秦岭金矿及钼矿分布图(据晁媛等,1994)

1—新生界盆地 2—中元古界官道口群 3—中元古界熊耳群 4—太古宇太华群 5—花岗岩 6—拆离断层 7—区域性断裂;
8—金矿床 9—钼矿床

Fig. 1 Distribution of Au and Mo deposits in Xiaoqinling area(after Chao et al., 1994)

1—Cenozoic basin; 2—Middle Proterozoic Guandaokou Group; 3—Middle Proterozoic Xiong'er Group; 4—Archean Taihua Group; 5—Granite;
6—Detaching fault; 7—Regional fault; 8—Gold deposit; 9—Molybdenum deposit

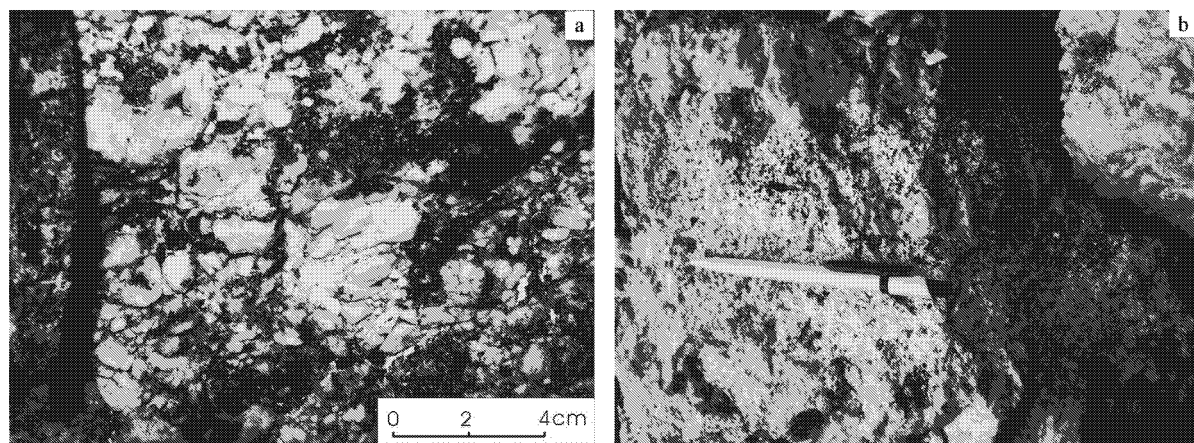


图2 大湖矿床(a)及泉家峪矿床(b)辉钼矿样品照片

Fig. 2 Photo of molybdenites from the Dahu deposit (a) and the Quanjiayu deposit (b)

大湖矿床辉钼矿的样品采自540中段的S35号矿脉,DY-1、DY-2和DaHu-1为含辉钼矿的石英脉型金矿石(图2a),DY-3、DY-5为含辉钼矿的钾长石化蚀变岩型金矿石。泉家峪矿床辉钼矿的样品采自采矿露头(图2b)。所有样品送至廊坊市科大岩石矿物分选技术服务有限公司进行辉钼矿单矿物挑选。选出的辉钼矿单矿物在显微镜下检查,纯度大于99%、晶体无氧化、无污染。在DY-1和DY-5样品中挑出的辉钼矿数量极少。

2 样品化学处理流程及测试方法

辉钼矿的Re-Os同位素测试在国家地质测试中心进行,铼、钨化学分离步骤和质谱测定主要包括样品分解、蒸馏分离Os、萃取分离Re和质谱测定4个步骤。

(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,调节温度到摄氏 $-50^{\circ}\text{C} \sim -80^{\circ}\text{C}$ 。将装好样的Carius管放到该保温杯中,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2 ml 10 mol/l HCl,6 ml 16 mol/l 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。将套管轻轻放入鼓风烘箱内,待回到室温后,逐渐升温到 230°C ,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。

(2) 蒸馏分离Os

于 $105 \sim 110^{\circ}\text{C}$ 蒸馏50分钟,用10 ml水吸收蒸馏出的 OsO_4 。用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Os。

(3) 萃取分离Re

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10 ml浓度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毫升Teflon分液漏斗中。加入10 ml丙酮,震荡5分钟,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分钟,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Teflon烧杯中。在电热板上加热至 50°C 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Os。用数毫升稀硝酸溶解残渣,稀释到硝酸浓度为2%。备ICPMS测定Re同位素比值。如含Re溶液中盐量超过1 mg/ml,需采用阳离子交换柱除去 Na^+ 。

(4) 质谱测定

采用美国TJA公司生产的TJA PQ ExCell 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。

3 测定结果

分析结果列于表1中(DY-1和DY-5由于辉钼

表 1 小秦岭大湖金矿、泉家峪金矿石英脉中辉钼矿 Re-Os 数据

Table 1 Re and Os analytical results of molybdenites from the Dahu and Quanjiayu gold deposits , Xiaolinling area											
样号	m 样品/g	α(Re)ng/g		α(C 普 Os)ng/g		α(Re ¹⁸⁷)ng/g		α(Os ¹⁸⁷)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
DY-2	0.20118	1868	15	0.3568	0.0042	1174.1	9.5	4.564	0.033	232.9	2.7
DY-3	0.20225	2305	22	0.2393	0.0030	1449	14	5.393	0.039	223.0	2.8
DaHu-1	0.06307	1531	11	0.2496	0.0036	962.1	7.2	3.593	0.027	223.7	2.6
QJY-B1	0.06105	5382	46	0.0270	0.0026	3383	29	7.286	0.055	129.1	1.6
QJY-B2	0.03088	17282	126	0.0065	0.0050	10863	79	23.69	0.17	130.8	1.5

注: 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。

矿样品量少,测定准确度差,其数据没有列出)。其数据是用国家地质试验测试中心的电感耦合等离子质谱仪 TJA X-series ICP-MS 进行测量而得到的。 $C_{普Os}$ 是根据 Nier 值的 Os 同位素丰度,通过 $^{192}Os/^{190}Os$ 测量比计算得出, ^{187}Os 是 ^{187}Os 同位素总量。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 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%。

模式年龄 t 按下式计算

$$t = 1/\lambda[(1 + ^{187}Os/^{187}Re)]$$

其中 $\lambda(^{187}Re \text{ 衰变常数}) = 1.666 \times 10^{-11}/a$

从表 1 可以看出,大湖矿床中辉钼矿的 Re-Os 模式年龄为(223.0 ± 2.8)Ma 至(232.9 ± 2.7)Ma,而泉家峪(钼)金矿石中辉钼矿样品的 Re-Os 模式年龄为(129.1 ± 1.6)Ma 和(130.8 ± 1.5)Ma。

4 讨论

4.1 小秦岭地区金、钼矿化的期次

前人采用多种方法对小秦岭地区金矿的成矿时代进行了研究,其中较精确的年龄为黑云母及绢云母的 Ar-Ar 年龄(126.9 ± 0.3)Ma~(132.16 ± 2.64)Ma(王义天等,2002;徐启东等,1998)(表 2)。但是胡正国等(1994)获得的小秦岭潼峪 F5 矿脉中绢云母的 K-Ar 法年龄为(237.54 ± 4.8)Ma,王秀璋等(1992)获得小秦岭金矿中钾长石的 Rb-Sr 等时线年龄为 208.2Ma,李华芹等(1993)测得金碛岔 S60 号石英脉中流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为(278 ± 19)Ma,黎世美等(1993)测得上宫金矿蚀变绢云母的 Rb-Sr 等时线年龄为(242 ± 11)Ma,任富根等

(1996)测得上宫金矿硅化石英的 Ar-Ar 坪年龄为 222 Ma,显示了印支期成矿的信息。卢欣祥等(1999)通过对已有年龄数据的分析,也认为印支期是小秦岭—熊耳山地区一个重要的金、钼及多金属成矿期。本文获得的大湖金(钼)矿床(223.0 ± 2.8)Ma~(232.9 ± 2.7)Ma 及泉家峪金(钼)矿床(129.1 ± 1.6)Ma 和(130.8 ± 1.5)Ma 的辉钼矿 Re-Os 模式年龄,进一步证实了小秦岭地区的成矿作用除发生于燕山期外,印支期也有成矿作用发生。小秦岭糜棱岩化片麻岩中热液蚀变黑云母的 Ar-Ar 坪年龄为(217.75 ± 0.31)Ma 和(219.97 ± 0.32)Ma(毛景文等,2005a),也说明该区在印支期有强烈的构造-热液事件发生。

分布于小秦岭金矿集中区南侧金堆城地区的钼矿化除了主要发生于燕山期外,也发生于印支期。斑岩(矽卡岩)型钼矿发生于燕山期,金堆城斑岩型钼矿床的辉钼矿 Re-Os 年龄为(127 ± 7)Ma~(141 ± 4)Ma(黄典豪等,1994;杜安道等,1994;Stein et al.,1997),辉钼矿的 Ar-Ar 年龄为(135 ± 6)Ma(杜安道等,1994);其他斑岩(矽卡岩)型钼矿床的辉钼矿 Re-Os 年龄参见表 2。黄龙铺钼(铅)矿床为碳酸岩脉型,其辉钼矿 Re-Os 年龄为(216 ± 2)Ma~(222 ± 4)Ma(黄典豪等,1994;杜安道等,1994;Stein et al.,1997),铅铀钛矿的 U-Pb 年龄为 206 Ma(黄典豪等,1985),显示印支期成矿的特点。大湖金(钼)矿和泉家峪金(钼)矿为石英脉型,本文获得的燕山期和印支期成矿年龄数据说明脉型钼矿化除发生于印支期外,也发生于燕山期。

综上所述,小秦岭乃至东秦岭地区的金、钼矿化有印支和燕山两期。由于燕山期成矿事件的强烈改造,印支期的成矿信息多被掩盖以至不易识别,甚至被破坏消失。

表 2 东秦岭地区金、钼矿床的部分同位素年龄

Table 2 Data of isotopic ages from some gold and molybdenum deposits in East Qinling area

测定对象	方法	年龄/Ma	来源
小秦岭金矿 Q875 脉黑云母	Ar-Ar	128.3±0.3	王义天等,2002
小秦岭金矿 Q875 脉黑云母	Ar-Ar	126.9±0.3	王义天等,2002
小秦岭金矿 507 脉绢云母	Ar-Ar	132.16±2.64	徐启东等,1998
小秦岭金矿 60 脉石英包裹体	Rb-Sr 等时线	161.5±17.9	李华芹等,1993
河南东沟金矿 507 脉石英	Ar-Ar	139.7±7.3	李绍儒等,1998
小秦岭潼峪 F5 矿脉	绢云母 K-Ar	237.54±4.8	胡正国等,1994
小秦岭金矿	钾长石 Rb-Sr 等时线	208.2	王秀璋等,1992
小秦岭糜棱岩化片麻岩中黑云母	Ar-Ar 坪年龄	217.75±0.31	毛景文等,2005a
小秦岭糜棱岩化片麻岩中黑云母	Ar-Ar 坪年龄	219.97±0.32	毛景文等,2005a
河南雷门沟钼矿	辉钼矿 Re-Os	132.4±2.0	李永峰等,2004
河南南泥湖钼矿	辉钼矿 Re-Os	141.8±2.1	李永峰等,2004
河南南泥湖钼矿	辉钼矿 Re-Os	148±10	黄典豪等,1994
河南三道庄钼矿	辉钼矿 Re-Os	145.0±2.2	李永峰等,2004
河南上房钼矿	辉钼矿 Re-Os	144.8±2.1	李永峰等,2004
陕西黄龙铺钼铅矿	辉钼矿 Re-Os	221.5±0.3	Stein et al.,1997
陕西黄龙铺钼铅矿	辉钼矿 Re-Os	216±2	杜安道等,1994
陕西黄龙铺钼铅矿	辉钼矿 Re-Os	222±4	黄典豪等,1994
陕西黄龙铺钼铅矿	铅铀钛矿 U-Pb	206	黄典豪等,1985
陕西金堆城钼矿	辉钼矿 Re-Os	138.4±0.5	Stein et al.,1997
陕西金堆城钼矿	辉钼矿 Re-Os	141±4	杜安道等,1994
陕西金堆城钼矿	辉钼矿 Re-Os	127±7	黄典豪等,1994
陕西金堆城钼矿	辉钼矿 Re-Os	129±4	黄典豪等,1994
陕西金堆城钼矿	辉钼矿 Re-Os	139±23	杜安道等,1994
陕西金堆城钼矿	辉钼矿 Ar-Ar	135±6	杜安道等,1994
河南秋树湾铜钼矿	辉钼矿 Re-Os 等时线	147±4	郭保健等,2006

4.2 成矿物质来源

辉钼矿的 Re 含量对其物质来源可能有指示意义。Mao 等(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,矿石中的含铼量呈数量级下降,与幔源、I 型到 S 型花岗岩有关的矿床中,Re 的含量(w_B ,下同)也从几百 $\times 10^{-6} \rightarrow$ 几十 $\times 10^{-6} \rightarrow$ 几 $\times 10^{-6}$ 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.,1997)。东秦岭地区,黄龙铺钼(铅)矿辉钼矿的铼含量最高,为 $256.0 \times 10^{-6} \sim 633.1 \times 10^{-6}$,平均 428.36×10^{-6} (表 3),表明其来源与主要源于上地幔的成岩成矿物质有关(黄典豪等,1985),很可能为造山晚期地幔蠕动或脱气过程的一种成矿响应(毛景文等,2005a);金堆城、南泥湖—三道庄、上房沟及雷门沟等钼矿床辉钼矿的 Re 含量为 $12.9 \times 10^{-6} \sim 53.7 \times 10^{-6}$,秋树湾钼矿床辉钼矿的铼含量为 $112.7 \times 10^{-6} \sim 180.0 \times 10^{-6}$,与源于下地壳的斑岩体有关(卢欣祥,2002;李永峰等,2003;Li et al.,2004a;郭保健等,2006)。

本文测定的 2 个石英脉型金(钼)矿床中辉钼矿

的铼含量很低,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。这说明东秦岭地区钼矿化除与地幔蠕动或脱气过程及 I 型岩浆活动有关外,也可能与地壳重熔的 S 型花岗岩岩浆活动或地壳流体有关。区内 S 型花岗岩的 SHRIMP 年龄为:文峪岩体(138.4 ± 2.5)Ma,娘娘山岩体(141.7 ± 2.5)Ma,华山岩体(146 ± 15)Ma(毛景文等,2005a),稍早于泉家峪金(钼)矿床的(129.1 ± 1.6)Ma 和(130.8 ± 1.5)Ma,而且泉家峪矿床的矿体就直接产于文峪花岗岩的断裂裂隙中。因此,泉家峪矿床中的钼矿化可能与燕山期的 S 型花岗岩岩浆活动有关。

但是,小秦岭地区没有明显的印支期 S 型花岗岩岩浆活动。因此,大湖矿床中的钼可能来自地壳流体。

4.3 小秦岭地区中生代构造演化及金钼成矿作用

华北克拉通与扬子克拉通于中、晚三叠世实现完全对接(张国伟等,1996;李曙光等,1989;1997)。之后的中生代时期,包括小秦岭地区在内的中国东部发生了 4 次重要的地质事件,伴随有 4 次成矿作用的发生:

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	$\alpha(\text{Re})/\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$		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	$230\pm7\sim220\pm5$	黄典豪等,1994
金堆城	斑岩型	3	12.9~19.7	16.13	$139\pm3\sim129\pm7$	黄典豪等,1994
南泥湖-三道庄	斑岩-矽卡岩型	9	13.1~53.7	28.09	$156\pm8\sim146\pm5$	黄典豪等,1994
南泥湖-三道庄	斑岩-矽卡岩型	6	15.2~27.5	22.0	$145.5\pm2.2\sim141.8\pm2.1$	李永峰等,2003
上房沟	斑岩型	2	19.0~20.2	19.6	$145.8\pm2.1\sim143.8\pm2.1$	李永峰等,2004b
雷门沟	斑岩型	2	18.4~25.9	22.15	136.2 ± 1.5	李永峰等,2004b
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	$223.0\pm2.8\sim232.9\pm2.7$	本文
泉家峪	石英脉型	2	5.382~17.282	11.332	$129.1\pm1.6,130.8\pm1.5$	本文

(1)晚三叠世—早侏罗世,发生了伸展塌陷,沿秦岭造山带商城—镇平断裂及瓦穴子断裂,形成了近 EW 向的以块断裂陷、剪切平移作用为主的晚三叠世—早侏罗世陆相盆地(张国伟等,2001)。此种伸展环境下发生了地幔脱气,形成以黄龙铺钼矿为代表的矿质来源以幔源为主的矿床。同时,沿韧性断裂活动的地壳流体也发生以大湖金(钼)矿床和以潼峪 F5 金矿脉为代表的金、钼矿化。

(2)中侏罗世—晚侏罗世,东秦岭发生了由北向南的强烈的逆掩推覆及造山作用,使秦岭褶皱带内 T_3-J_1 等陆相岩层遭受程度不同的变质与变形作用,推覆还造成地壳的加厚,导致陆壳重熔和幔源岩浆底侵,在小秦岭地区形成大量辉绿岩脉(152~169 Ma,刘埃平等,1996),熊耳山地区形成深成的五丈山花岗岩基(156 Ma,毛景文等,2005a)。这一时期成矿作用不明显,可能与挤压环境不利于成矿流体活动有关。

(3)侏罗纪—白垩纪相交时期,中国东部发生了构造体制的大转换,由近 EW 向构造体制转换为受古太平洋板块向欧亚板块下俯冲控制的 NE—NNE 向构造体制(毛景文等,2005a)。受这一俯冲体制控制,在东秦岭地区发生了深源浅成 I 型花岗岩浆活动,形成众多小斑岩体,伴随着以金堆城、南泥湖—三道庄、上房及秋树湾矿床为代表的大规模钼矿成矿作用的发生。该期也可能有金成矿作用的发生,如东沟金矿 507 号脉中石英的 Ar-Ar 年龄为(139.7 $\pm$ 7.3)Ma(李绍儒等,1998),可能是该期的产物。

(4)早白垩世中晚期,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(毛景文等,2005b),造成了小秦岭、熊耳山等地大规模金矿化及部分钼矿化。在小秦岭地区,这些矿化围绕文峪等 S 型花岗岩岩基发生,成矿流体为与燕山期花岗岩岩浆期后热液类似的含 CO₂ 的低盐度流体(范宏瑞等,2000,2003)。泉家峪金(钼)矿即是该期成矿事件的产物,但主要为壳源流体成矿。

综上所述,小秦岭地区中生代的主要地质事件中均有成矿作用发生,每次成矿作用过程中既有钼矿化,又有金矿化,构成华北克拉通南缘中生代金钼成矿系列。这为本区找矿工作提供了新思路,即在金矿集中区要注意找钼,在钼矿集中区也有找到金矿的可能。

5 结 论

(1)大湖金(钼)矿床中辉钼矿的 Re-Os 模式年龄为(223.0 $\pm$ 2.8)Ma~(232.9 $\pm$ 2.7)Ma,而泉家峪金(钼)矿床中辉钼矿样品的 Re-Os 模式年龄为(129.1 $\pm$ 1.6)Ma 和(130.8 $\pm$ 1.5)Ma。表明小秦岭地区除燕山期金、钼成矿作用外,印支期金、钼成矿作用也普遍存在。

(2)大湖金(钼)矿床和泉家峪金(钼)矿床中辉钼矿的 Re 含量低,可能表明其成矿物质与金堆城、黄龙铺等其他钼矿床不同,来自壳源的可能性更大。

(3)在中国东部中生代的 3 次成矿事件中,小秦岭地区每次均有金钼成矿作用的发生。

References

Chao Y and Zhu W H. 1994. An understanding for geometric shape and

- ore-control regularity of vein-bearing faulted structure belts in gold orefield, Xiaoqinling region [J]. *Geology of Shaanxi*, 12(2): 1~13 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, He H L, Yin N W, Zou X Q, Sun Y L, Sun D Z, Chen S Z and Qu W J. 1994. A study on the Rhenium-Osmium geochronometry of molybdenites [J]. *Acta Geologica Sinica*, 68(4): 339~347 (in Chinese with English abstract).
- Fan H R, Xie Y H, Zhao R and Wang Y L. 2000. Dual origins of Xiaoqinling gold-bearing quartz veins: Fluid inclusion evidences [J]. *Chinese Science Bulletin*, 45(5): 537~542 (in Chinese).
- Fan H R, Xie Y H, Zhai M G and Jin C W. 2003. A three stages fluid flow model for Xiaoqinling lode gold metallogenesis in Henan and Shaanxi provinces, central China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 19(2): 260~266 (in Chinese with English abstract).
- Guo B J, Mao J W, Li H M, Qu W J, Qiu J J, Ye H S, Li M W and Zhu X L. 2006. Re-Os dating of the molybdenite from the Qiushuwan Cu-Mo deposit in the east Qinling and its geological significance [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 22(9): 2341~2348 (in Chinese with English abstract).
- Hu Z G, Qian Z Z and Yan G M. 1994. Xiaoqinling metamorphic core complex and gold deposits [M]. Xi'an: Shaanxi Press of Science and Technology, 21~22 (in Chinese).
- Huang D H, Wang Y C, Nie F J and Jiang X J. 1985. A new type of molybdenum deposit: Geological characteristics and metallogenic mechanism of the Huanglongpu carbonatite vein-type molybdenum (lead) deposit, Shaanxi [J]. *Acta Geologica Sinica*, 59: 241~267 (in Chinese with English abstract).
- Huang D H, Wu C Y, Du A D and He H L. 1994. Re-Os isotope ages of molybdenum deposits in the East Qinling and their significance [J]. *Mineral Deposits*, 13(3): 221~300 (in Chinese with English abstract).
- Li H Q, Liu J Q and Wei L. 1993. Study on fluid inclusion chronology of hydrothermal deposits and its geological application [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 92~105 (in Chinese).
- Li S R, Li Q Z and Li W L. 1998. A new view on the genesis of the Xiaoqinling gold field [J]. *Gold Geology*, 4(1): 41~49 (in Chinese with English abstract).
- Li S M, Qu L Q and Li X M. 1993. The ore-forming condition, enrichment regularity, metallogenetic model and perspective forecasting of altered breccia rock-type gold deposits in Xiongershan district [A]. In: *The corpus of Qinling-Bashan gold deposit* [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 119p (in Chinese).
- Li S G, Hart S R and Zheng S G. 1989. Collisional time of the North China and South China blocks: Evidence from the Sm-Nd isotopic ages [J]. *Science in China (Series D)*, (3): 312~319 (in Chinese).
- Li S G, Li H M, Chen Y Z, Xiao Y L and Liu D L. 1997. UHP metamorphic chronology of Dabieshan-Sulu Block-II. U-Pb isotopic system of zircon [J]. *Science in China (Series D)*, 27(3): 200~206 (in Chinese).
- Li Y F, Mao J W, Bai F J, Li J P and He Z J. 2003. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Nannihu molybdenum (tungsten) ore-field in the Eastern Qinling and its geodynamic significance [J]. *Geological Review*, 49(6): 652~659 (in Chinese with English abstract).
- Li Y F, Mao J W, Guo B J, Shao Y J, Fei H C and Hu H B. 2004a. Re-Os dating of molybdenite from the Nannihu Mo(-W) orefield in the East Qinling and its geodynamic significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(2): 463~470.
- Li Y F, Wang C Q, Bai F J and Song Y L. 2004b. Re-Os isotopic ages of Mo deposits in East Qinling and their geodynamic settings [J]. *Mineral Resources and Geology*, 18(6): 571~578 (in Chinese with English abstract).
- Liu A P and Jin J F. 1996. A discussion on problems concerning basic dykes and gold mineralization in Xiaoqinling area [J]. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration*, 18 (Supp.): 106~109 (in Chinese).
- Lu X X, Yu X D, Dong Y and Xuan S M. 1999. The metallogenetic epoch of gold deposits in Xiaoqinling-Xiongershan region [J]. *Gold Geology*, 5(1): 11~16 (in Chinese with English abstract).
- Lu X X, Yu Z P, Feng Y L, Wang Y T, Ma W F and Cui H F. 2002. Mineralization and tectonic setting of deep-hypabyssal granites in the east Qinling mountain [J]. *Mineral Deposits*, 21(2): 168~178 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H and 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 [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(11-12): 1815~1818.
- Mao J W, Xie G Q, Zhang Z H, Li X F, Wang Y T, Zhang C Q and Li Y F. 2005a. Mesozoic large-scale metallogenetic pulses in North China and corresponding geodynamic settings [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(1): 169~188 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Li X F, Zhang R H, Wang Y T, Hao Y and Zhang Z H. 2005b. Mantle-derived fluid-related ore-forming system [M]. Beijing: China Land Publ. House. 1~383 (in Chinese with English abstract).
- Ren F G, et al. 1996. The metallogenetic geological condition and general appraising model of gold deposits in Xiongershan-Xiaoshan district [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 80~90 (in Chinese).
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, Du A and Sun Y. 1997. Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenum from the East Qinling molybdenum belt, Shaanxi Province, China [J]. *Econ. Geol.*, 98: 175~180.
- Wang X Z. 1992. Geochemistry of reforming-type gold deposits in China [M]. Beijing: Science Press. 10~11, 33~34 (in Chinese).
- Wang Y T, Mao J W, Lu X X and Ye A W. 2002. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating and geological implication of auriferous altered rocks from the middle-deep section of Q875 gold-quartz vein in Xiaoqinling area, Henan, China [J]. *Chinese Science Bulletin*, 47(20): 1750~1755 (in Chinese).
- Xu Q D, Zhong Z Q, Zhou H W, Yang F C and Tang X C. 1998. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of the Xiaoqinling gold area in Henan province

[J]. Geological Review, 44(3):323~327 (in Chinese with English abstract).

Zhang G W, Meng Q R, Yu Z P, Sun Y, Zhou D W and Guo A L. 1996. Orogenic process of the Qinling orogen and the discussion for their dynamics[J]. Science in China (Series D), 26(3):193~200 (in Chinese).

Zhang G W, Zhang B R and Yuan X C. 2001. Qiling orogenic belt and continental dynamics[M]. Beijing: Science Press. 1~30 (in Chinese).

附中文参考文献

晁 援, 朱文怀. 1994. 对小秦岭金矿田含脉断裂构造带的几何形态及控矿规律的认识[J]. 陕西地质, 12(2):1~13.

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[J]. 地质学报, 68(4):339~347.

范宏瑞, 谢奕汉, 赵 瑞, 王英兰. 2000. 小秦岭含金石英脉复式成因的流体包裹体证据[J]. 科学通报, 45(5):537~542.

范宏瑞, 谢奕汉, 翟明国, 金成伟. 2003. 豫陕小秦岭脉状金矿床三期流体运移成矿作用[J]. 岩石学报, 19(2):260~266.

郭保健, 毛景文, 李厚民, 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[J]. 岩石学报, 22(9):2341~2348.

胡正国, 钱壮志, 阎广民. 1994. 小秦岭拆离-变质杂岩核构造与金矿[M]. 西安: 陕西科学技术出版社. 21~22.

黄典豪, 王义昌, 聂风军, 江秀杰. 1985. 一种新的钼矿床类型——陕西黄龙铺碳酸岩脉型钼(铅)矿床地质特征及成矿机制[J]. 地质学报, 59(3):241~257.

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[J]. 矿床地质, 13(3):221~229.

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[M]. 北京: 地质出版社. 92~105.

李绍儒, 李强之, 李文良. 1998. 小秦岭金矿田矿床成因新认识[J]. 黄金地质, 4(1):41~49.

黎世美, 瞿伦全, 李新民. 1993. 熊耳山地区蚀变构造岩型金矿成矿地质条件、富集规律及远景预测[A]. 见: 秦巴金矿论文集[C].

北京: 地质出版社. 119.

李曙光, Hart S R, 郑双根. 1989. 中国华北、华南陆块碰撞时代的钐-钕同位素年龄证据[J]. 中国科学(D辑)(3):312~319.

李曙光, 李惠民, 陈移之, 肖益林, 刘德良. 1997. 大别山-苏鲁地体超高压变质年代学——II. 锆石 U-Pb 同位素体系[J]. 中国科学(D辑), 27(3):200~206.

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 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质论评, 49(6):652~659.

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

刘埃平, 金景福. 1996. 小秦岭基性脉岩与金矿化的若干问题讨论[J]. 物探化探计算技术, 18(增刊):106~109.

卢欣祥, 尉向东, 董 有, 靳慎民. 1999. 小秦岭-熊耳山地区金矿时代[J]. 黄金地质, 5(1):11~16.

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[J]. 矿床地质, 21(2):168~178.

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

毛景文, 李晓峰, 张荣华, 王义天, 赫 英, 张作衡. 2005b. 深部流体成矿系统[M]. 北京: 大地出版社. 1~383.

任富根, 等. 1996. 熊耳山-崤山地区金矿成矿地质条件和找矿综合评价模型[M]. 北京: 地质出版社. 80~90.

王秀璋, 等. 1992. 中国改造型金矿床地球化学[M]. 北京: 科学出版社. 10~11, 33~34.

王义天, 毛景文, 卢欣祥, 叶安旺. 2002. 河南小秦岭金矿区 Q875 脉中深部矿化蚀变岩的⁴⁰Ar-³⁹Ar 年龄及其意义[J]. 科学通报, 47(18):1427~1431.

徐启东, 钟增球, 周汉文, 杨发成, 唐学超. 1998. 豫西小秦岭金矿区⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年数据[J]. 地质论评, 44(3):323~327.

张国伟, 孟庆仁, 于在平, 等. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征[J]. 中国科学(D辑), 26(3):193~200.

张国伟, 张本仁, 袁学诚. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社. 1~30.