

东秦岭钼矿 Re-Os 同位素年龄 及其成矿动力学背景

李永峰^{1,2}, 王春秋^{1,2}, 白凤军^{1,2}, 宋艳玲³

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2. 河南省有色金属地质矿产局, 河南 郑州 450052;

3. 河南省地质调查局第十一地质队, 河南 商丘 476000)

摘 要: 东秦岭钼矿带位于华北克拉通南缘, 集中分布于陕西省的金堆城地区、河南省栾川县南泥湖-三道庄-上房沟、嵩县雷门沟地区。钼矿床类型主要为斑岩型、斑岩-矽卡岩型, 少量热液碳酸盐岩脉型。采用电感耦合等离子体质谱仪法对南泥湖钼矿田、雷门沟钼矿床等 4 个矿床 8 件辉钼矿进行了 Re-Os 同位素年龄测定, 获得南泥湖矿床的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 141.8 ± 2 Ma; 三道庄矿床的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 $144.5 \pm 2.2 \sim 145.0 \pm 2.2$ Ma, 平均为 145.0 ± 2.2 Ma; 上房沟矿床的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 $143.8 \pm 2.1 \sim 145.8 \pm 2.1$ Ma, 平均为 144.8 ± 2.1 Ma; 6 件样品的等时线年龄为 141.5 ± 7.8 Ma (2 σ); 雷门沟钼矿床的 2 件辉钼矿样品的 Re-Os 模式年龄为 $131.6 \pm 2.0 \sim 133.1 \pm 1.9$ Ma, 平均为 132.4 ± 2.0 Ma。结合前人资料, 认为东秦岭钼矿的形成时代局限于 $221.5 \pm 0.3 \sim 132.4 \pm 2.0$ Ma 之间, 主要出现在 221.5 ± 0.3 Ma 左右和 $144.8 \pm 2.1 \sim 132.4 \pm 2.0$ Ma 时限之间, 其对应的地球动力学背景分别为华北克拉通与扬子克拉通的碰撞造山后陆内造山和伸展过程、中国东部构造体制大转换时期。

关键词: 钼矿床; 成矿年龄; Re-Os 同位素; 地球动力学背景; 东秦岭

中图分类号: P618.65; P597 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-5663(2004)06-0571-08

位于华北克拉通南缘的东秦岭钼矿带是我国重要的大型钼矿分布区之一(图 1), 也是仅次于美国西部 Climax-Henderson 斑岩钼矿带的全球第二大钼矿带。钼矿床主要集中分布于西起陕西省的金堆城地区, 东至河南省栾川南泥湖-三道庄-上房沟、嵩县雷门沟地区。该矿带产出了金堆城、南泥湖、三道庄、上房沟等世界级超大型钼矿床和雷门沟等 10 余个钼(钨)多金属矿床, 钼储量约占全国总储量的 52%^[1]。此外, 斑岩钼矿床内还伴有钨、铅、稀土、金、铀等元素的矿化, 如南泥湖钼矿中伴生的钨达到超大型规模, 其储量位居我国第二^[2]。

对于这样一个世界级超大型钼(钨)矿带, 其成矿时代和形成的地球动力学背景是一个重要的科学问题。长期以来, 由于受测试技术方法的限制, 一直以成矿岩体或蚀变矿物的年龄来间接判断成矿年龄, 难以准确厘定其成矿时代。本研究利用 Re-Os 同位素方法, 对其

中四个代表性典型大型-超大型矿床进行成矿时代厘定, 并结合前人资料, 进一步探讨其形成环境。

1 地质背景

东秦岭钼(钨)矿带主要出露于陕西洛南-河南栾川一带, 西起老牛山花岗岩体东侧, 东至伏牛山岩体西侧, 是秦岭金属成矿带的重要组成部分。钼矿带总体走向沿区域构造线呈近 EW 向狭长带状展布, 长约 250km, 宽 20~26km。其北界西端以石门-潘河-马超营断裂为界; 东端以熊耳群与官道口群接触界线为界; 南面以铁炉子-黑沟-栾川-固始断裂与秦岭褶皱系分隔。区域构造格架表现为近 EW 向与 NNE 向两组构造相互交织所形成格子状构造体系(图 1)。据铅同位素地球化学研究结果^[3-4], 代表岩石圈深部不均匀性块体边界的地球化学急变带中心线

在成矿带中部呈近 EW 向分布。区域重磁资料研究结果^[5]表明:地壳深部构造单元表现为莫氏面向西倾斜,呈近 EW 向延展的上地幔拗陷区;主要钼多金属矿床集中分布于华阴地幔拗陷区和卢氏地幔拗陷区附近,或位于地幔隆起区与凹陷区之间的过渡区,即

位于莫氏面较深,地壳厚度较大(一般为 44km~45km)部位^[6];并受控于 NE 向重力梯度带交切 EW 向慢向斜的交叉区;近 EW 向与 NE 向两组断裂构造的变切点往往控制燕山期中酸性小岩体的空间侵位和矿床形成。

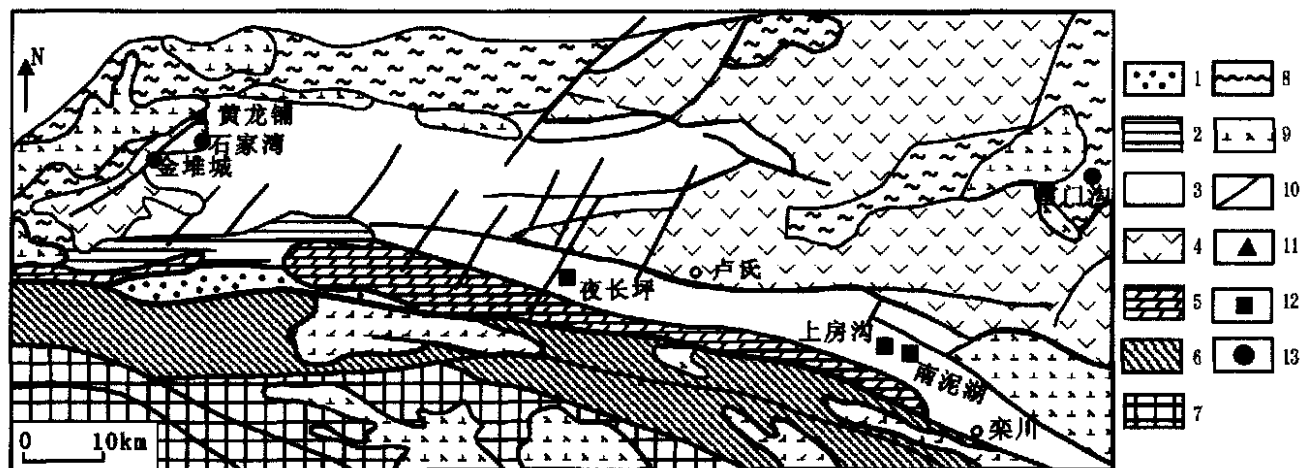


图 1 东秦岭钼矿带地质略图

Fig. 1 Geological sketch of Mo belt in East Qinling

- 1- 白垩系砂页岩 2- 寒武系灰岩 3- 中元古界官道口群碎屑岩、新元古界栾川群碳酸盐岩 4- 中元古界熊耳群火山岩 5- 中元古界陶湾群大理岩 6- 中元古界宽坪群绿片岩 7- 下元古界秦岭群变质岩 8- 太古界太华群角闪斜长岩片麻岩 9- 燕山期二长岗岩 10- 断层 11- 碳酸盐型钼铅矿床 12- 斑岩- 矽卡岩型钼(钨)矿床 13- 斑岩型钼矿

区内出露地层主要为:太古宙太华群中深变质的片麻岩-混合岩、大理岩及斜长角闪岩;中元古界熊耳群火山岩建造,官道口群滨海相碎屑岩-碳酸盐岩;上元古界栾川群浅海相碎屑岩-碳酸盐岩和碱性火山岩建造,震旦系及下古生界陶湾群滨海及潮坪相的碳酸盐岩建造。矿床直接产于燕山期中酸性岩体内外接触带及其附近。矿带中部发育的石门-马超营断裂作为重要的构造标志,大致可将整个矿带分为南北两个成矿亚带。

北亚带出露地层主要为中元古界熊耳群中基性火山岩和官道口群滨海相碎屑岩-碳酸盐岩,太古宙太华群绿岩建造呈零星状分布。矿床类型主要为斑岩型和热液碳酸盐脉型,次为斑岩-矽卡岩型。成矿元素组合主要为 Mo、Mo-Re-U-Pb、Mo-Pb-(U),次为 Mo-Fe 和 S-Fe-Mo 多金属。主要分布有金堆城、石家湾、黄龙铺、木龙沟、银家沟、雷门沟、黄水庵等矿床(图 1)。矿床产于中元古界熊耳群中基性火山岩系和官道口群石英岩、板岩、硅质条带白云岩以及太古界太华群黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩、混合岩中。

南亚带出露地层主要为中元古界官道口群碎屑岩-碳酸盐岩和新元古界栾川群碎屑岩-碳酸盐岩。主要分布主要有夜长坪、南泥湖、三道庄、上房沟、马

圈、骆驼山等矿床。矿床类型主要为斑岩-夕卡岩型。成矿元素组合可分为 Mo-W、Mo-(W)-Fe、S-W-Zn-Cu-Be。矿床产于中元古界官道口群龙家园组和新元古界栾川群大理岩、石英岩、变粒岩、片岩中,主要为钼矿床、钼钨矿床、钼铁矿床和伴生铜、硫、锌、铁矿床。

根据矿床地质特征、成矿元素组合、矿床成因、产出特点和成矿机制,可将东秦岭钼矿床分为斑岩型、斑岩-矽卡岩型、热液碳酸盐岩脉型三类,其中斑岩型以金堆城、雷门沟钼矿床为典型代表;斑岩-矽卡岩型则以南泥湖、三道庄、上房沟矿床为典型代表;热液碳酸盐岩脉型矿床出露较少,以黄龙铺、黄水庵矿床为典型代表。

3 前人研究成果

东秦岭钼矿带以其独特的成矿地质背景、丰富的矿产资源储量受到国内外地质工作者的瞩目,其构造演化、成岩成矿时代、成矿规律是国内外学者共同关注的科学问题。新中国成立以来,东秦岭地区曾进行过大量地质工作,在确定其成岩成矿时代方面取得了丰硕成果。东秦岭钼矿的形成与区内广泛分布的燕山

期中酸性深源浅成型花岗岩有关^[7-8], 前人对这套岩体进行过较多的同位素测年, 获得的数据为 170~110Ma, 主要集中于 140~120Ma^[9]。由于这些年龄都是二十世纪 80 年代末或 90 年代初利用 Rb-Sr、⁴⁰Ar/³⁹Ar、K-Ar 等方法完成, 获得的成岩年龄数据变化较大, 如南泥湖岩体的 K-Ar 年龄从 130.9Ma 到 162Ma (表 1)。成矿年龄也多由测试蚀变矿物年龄或成矿岩体年龄而间接获得, 难以达到精确。90 年代末期, 随着 Re-Os 同位素技术的成熟, 将等离子质谱法用于定年研究, 发表了一批研究成果^[10]。近几年的研究应用越来越广泛, 利用 NTMS 和改进的 TJA PQ ExCell ICP-MS (电感耦合等离子体质谱仪)、HR ICP-MS 等高精度方法, 相继发表了大批精测年龄数

据^[11-13]。这些 Re-Os 同位素测年资料表明: 除黄龙铺钼矿床形成于 221.5±0.3Ma 外, 其它钼矿床的形成时代集中于 144.8±2.1~132.4±2.0Ma。

4 采样位置

本次研究在南泥湖钼矿田共采集 8 件矿石样品进行 Re-Os 同位素年龄测定, 其中南泥湖矿床 1 件, 三道庄矿床 3 件, 上房沟矿床 2 件, 雷门沟矿床 2 件。采样位置利用便携式 GPS 定位, 具体采样位置见图 2、图 3 及表 2。采样过程中综合考虑了各种影响因素, 兼顾了矿石类型及其品位差异、储量比例和出露位置等。因此, 样品的代表性较好。

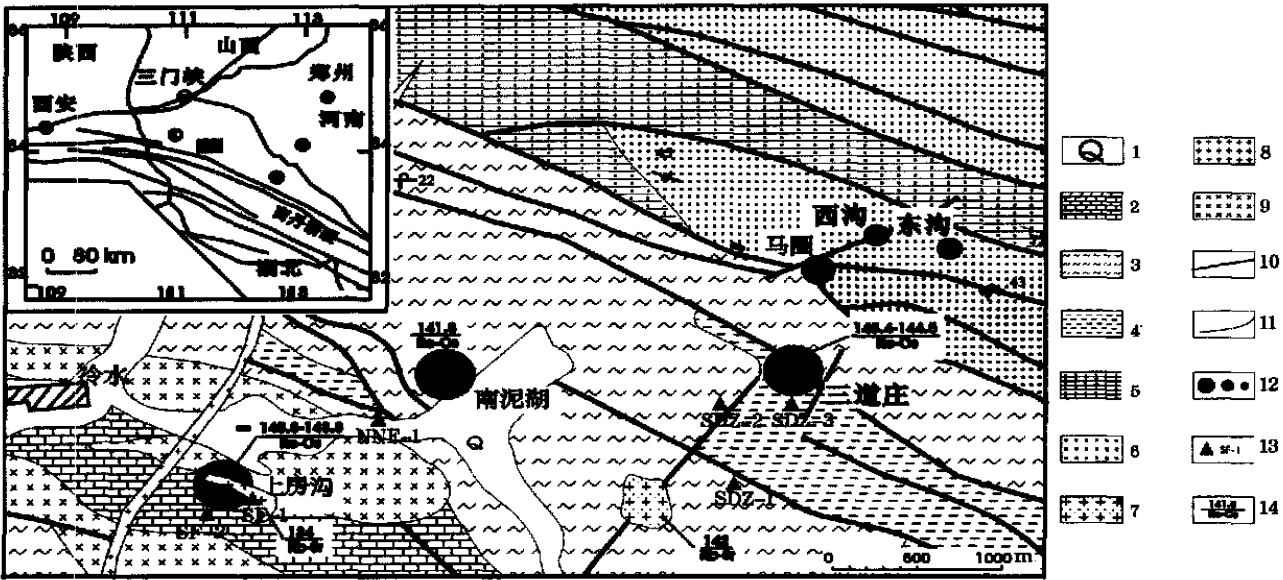


图 2 南泥湖钼矿地质简图和采样位置图

Fig 2 (a) Geological map of the Nannihu Mo deposits in East Qinling, (b) Map of sample location
1- 第四系沉积物 2- 新元古界栾川群煤窑组白云质大理岩 3- 新元古界栾川群南泥湖组大理岩、片岩 4- 新元古界栾川群三川组变砂岩、黑云大理岩 5- 新元古界栾川群白木沟组石英岩、片岩白云质大理岩 6- 中元古界官道口群石英砂岩、白云岩 7- 燕山期斑状花岗岩 8- 花岗岩斑岩 9- 变辉长岩 10- 断层 14- 地质界线 12 矿床(大、中、小型) 13- 采样位置及编号 14- 成岩成矿时代(Ma)及测试方法

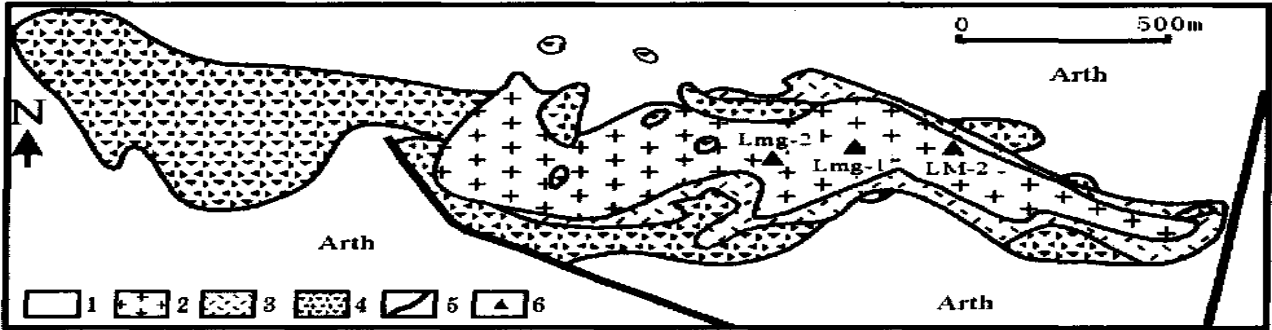


图 3 雷门沟钼矿地质简图

Fig 3 Geological sketch of Leimengou Mo deposit

1- 新太古界太华群片麻岩 2- 燕山期斑状花岗岩 3- 燕山期二长花岗岩 4- 燕山期角砾岩体 5- 断层 6- 样品位置及编号

表 1 东秦岭钼矿成岩成矿年龄一览表

Table 1 List of diagenism and mineralization ages in East Qinling

矿床	测试矿物	样品数	测试方法	年龄(Ma)	资料来源
黄龙铺Mo-Pb矿床	辉钼矿	7	Re-Os	221.5±0.3	Stein et al, 1997
	辉钼矿	3	Re-Os	216±2	杜安道等, 1995
	辉钼矿	5	Re-Os	222±4	黄典豪等, 1994
	铅铀钛铁矿	1	U-Pb	206	黄典豪等, 1985
金堆城钼矿床	辉钼矿	2	Re-Os	138.4±0.5	Stein et al, 1997
	辉钼矿	5	Re-Os	141±4	杜安道等, 1995
	辉钼矿	1	Re-Os	127±7	黄典豪等, 1994
	辉钼矿	1	Re-Os	129±4	黄典豪等, 1994
	辉钼矿	7	Re-Os	139±23	杜安道等, 1995
	辉钼矿	不详	Ar-Ar	135±6	杜安道等, 1995
	全岩	不详	Rb-Sr	132	尚瑞钧等, 1988
	黑云母	2	K-Ar	124±6	聂凤军等, 1994
	辉钼矿	1	Re-Os	141.8±2.1	本研究
南泥湖钼矿床	辉钼矿	1	Re-Os	148±10	黄典豪等, 1994
	全岩	7	Rb-Sr	142±15	胡受奚等, 1988
	白云母	不详	K-Ar	162	胡受奚等, 1988
	全岩	5	Rb-Sr	141	李先梓等, 1993
	钾长石	不详	K-Ar	130.9±4.5	罗铭玖等, 1991
	黑云母	不详	K-Ar	136.5±3.7	罗铭玖等, 1991
三道庄钼矿床	辉钼矿	3	Re-Os	145.0±2.2	本研究
上房沟钼矿床	辉钼矿	2	Re-Os	144.8±2.1	本研究
	全岩	不详	K-Ar	145	罗铭玖等, 1991
雷门沟钼矿床	辉钼矿	2	Re-Os	132.4±2.0	本研究
	全岩	不详	K-Ar	88.4	胡受奚等, 1988
	锆石	11	SHRMP	136.2±1.5Ma	李永峰等, 2005

注: 资料来源为参考文献[9~13]。

表 2 东秦岭钼矿 Re-Os 测年样品一览表

Table 2 Re-Os dating sample of Mo deposits in East Qinling

序号	样号	矿石名称	采样位置
1	SDZ-1	浸染状角岩型钼矿石	三道庄矿露天采场
2	SDZ-2	细脉状砂卡岩型钼矿石	三道庄矿露天采场
3	SDZ-3	网脉状砂卡岩型钼矿石	三道庄矿露天采场
4	SF-1	细脉状花岗斑岩型钼矿石	上房沟矿露天采场
5	SF-2	团块状砂卡岩型钼矿石	上房沟矿露天采场
6	NNF-1	条带状角岩型钼矿石	南泥湖矿坑道采场
7	LMG-1	细脉状花岗斑岩型钼矿石	雷门沟钼矿床玉泉矿坑道采场
8	LMG-2	浸染状花岗斑岩型钼矿石	雷门沟钼矿床玉泉矿坑道采场

5 样品化学处理流程及测试方法

将野外采集的矿石样品在双目镜下手工挑选出辉钼矿单矿物, 辉钼矿质纯, 无氧化, 无污染, 纯度达 98% 以上。采用 Carius 管封闭溶样分解样品, Re-Os 同位素分析的化学分离过程和分析方法见有关文

献^[14~15]。实验全流程空白 Re 约为 10pg, 普通 Os 约为 1pg, 远远小于所测样品中的 Re、Os 含量, 因此, 不会影响实验中 Re、Os 含量的准确测定。Re-Os 模式年龄 t 按下式计算

$$t = \frac{1}{\lambda} \left[\ln \left(1 + \frac{{}^{187}\text{Os}}{{}^{187}\text{Re}} \right) \right]$$

其中 $\lambda(^{187}\text{Re} \text{ 衰变常数}) = 1.666 \times 10^{-11} \text{ yr}^{-1}$

6 测试结果

8 件辉钼矿样品均未检出普通 Os, 其 Re、Os 同位素测试结果如表 3, 获得四个矿床的辉钼矿 Re-Os 模式年龄如下: 南泥湖矿床的辉钼矿 Re-Os 模式年

龄为 $141.8 \pm 2.1 \text{ Ma}$; 三道庄矿床的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 $144.5 \pm 2.2 \sim 145.0 \pm 2.2 \text{ Ma}$, 平均为 $145.0 \pm 2.2 \text{ Ma}$; 上房沟矿床的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 $143.8 \pm 2.1 \sim 145.8 \pm 2.1 \text{ Ma}$, 平均为 $144.8 \pm 2.1 \text{ Ma}$; 雷门沟钼矿床的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 $131.6 \pm 2.0 \sim 133.1 \pm 1.9 \text{ Ma}$, 平均为 $132.4 \pm 2.0 \text{ Ma}$

表 3 东秦岭钼矿 Re-Os 同位素含量及模式年龄

Table 3 Re-Os isotopic data and model ages of Mo deposits in East Qinling

样号	矿区	样重 (g)	Re ($\times 10^{-6}$)	^{187}Re ($\times 10^{-6}$)	^{187}Os ($\times 10^{-9}$)	模式年龄 (Ma)
SDZ-1	三道庄	0.01475	27.5(0.4)	17.3(0.2)	41.7(0.4)	144.5(2.2)
SDZ-2	三道庄	0.03005	15.2(0.2)	9.58(0.11)	23.2(0.2)	145.4(2.0)
SDZ-3	三道庄	0.01543	25.2(0.4)	15.9(0.2)	38.4(0.3)	145.0(2.2)
SF-1	上房沟	0.02077	20.2(0.2)	12.7(0.2)	30.5(0.3)	143.8(2.1)
SF-2	上房沟	0.02219	19.0(0.2)	12.0(0.2)	29.1(0.2)	145.8(2.1)
NNF-1	南泥湖	0.01753	24.9(0.4)	15.7(0.2)	37.1(0.3)	141.8(2.1)
LMG-1	雷门沟	0.02286	18.4(0.3)	11.5(0.2)	25.3(0.2)	131.6(2.0)
LMG-2	雷门沟	0.0182	25.9(0.3)	16.2(0.2)	36.1(0.3)	133.1(1.9)

注: 1 测试单位为国家地质实验测试中心, 分析者: 屈文俊、曾法刚。

2 表 3 中括号内为误差 (2 σ), 其中 Re 和 Os 含量的计算误差包括稀释剂标定误差、质谱测量误差及质量分馏校正误差等。模式年龄的计算误差不仅包括稀释剂标定误差、质谱测量误差及质量分馏校正误差等, 另外还包括 ^{187}Re 衰变常数 λ 的不确定度 (1.02%)。

7 讨论

7.1 成矿时代

南泥湖斑状花岗岩的 Rb-Sr 等时线年龄为 $142 \pm 1 \text{ Ma}$ [16], 本研究获得南泥湖钼矿床、三道庄矿床的辉钼矿 Re-Os 模式年龄与岩体成岩年龄非常接近。上房沟花岗岩的全岩 K-Ar 法年龄为 $140 \sim 145 \text{ Ma}$ [17], 本次研究获得的上房沟钼矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄与岩体成岩年龄吻合。因 Re-Os 同位素体系封闭性好, 受后期改造微弱, 由此直接获得的硫化物矿物年龄比用其它间接方法获得的蚀变矿物年龄更为精确。

南泥湖矿田的三道庄、南泥湖、上房沟等三个矿床分别产出南泥湖斑状二长花岗岩体和上房沟花岗岩体或其接触带, 两个岩体的成分和来源一致 [18~19], 并在深部两者连在一起, 为同一岩浆成矿系统。因此, 可采用 ISOPLOT 软件的模式 1 对所获 6 件样品的模式年龄数据进行等时线拟合, 得到一条很好的等时线, 其中 ^{187}Re 、 ^{187}Os 的相对误差均输入 2.0% (2 σ), 初始值 $(^{187}\text{Os})_0 = 0.0006 \pm 0.0017$, 平均权重方差 MSWD = 0.49, 获得等时线年龄为 141.5

$\pm 7.8 \text{ Ma}$ (图 4)。

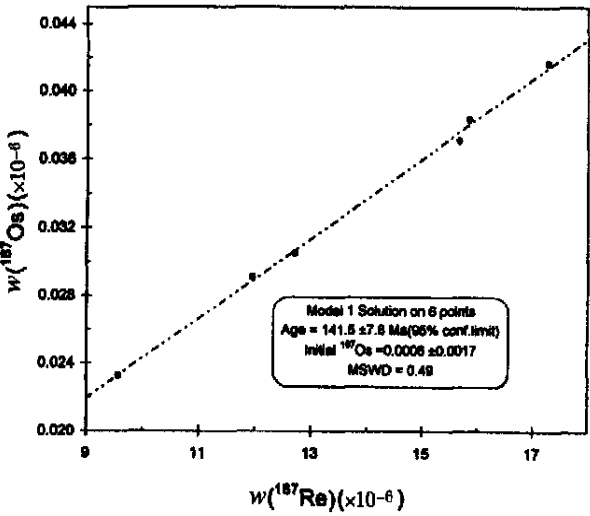


图 4 东秦岭南泥湖钼矿 Re-Os 同位素等时线图

Fig. 4 Isochrone diagram of Re-Os isotope of the Nannihu molybdenum deposit in East Qinling

金属矿床高精度年龄数据的获得, 准确刻画了大规模成矿作用的时间, 进而使探讨地球动力学演化

认识成矿过程和成矿规律成为可能。著名的长江中下游铜金成矿带内亦发育一系列矽卡岩-斑岩铜矿、矽卡岩-斑岩-层状交代(Manto)型矿床,该带六个代表性铜、金、钼矿床的辉钼矿 Re-Os 精测成矿年龄为 $137.9 \pm 1.5 \text{ Ma} \sim 143.7 \pm 1.6 \text{ Ma}$,平均为 $141.0 \pm 1.6 \text{ Ma}$ ^[20]。这些数据清楚的显示长江中下游斑岩-矽卡岩型铜、金、钼矿与东秦岭地区斑岩-矽卡岩型钼矿大体同时形成,表明尽管长江中下游铜金成矿带位于扬子克拉通北缘,但其成矿时代、地球动力学与华北克拉通基本一致^[21]。

华北克拉通北缘的斑岩-矽卡岩型矿床的成矿时代与本区也大致相同^[22]。北京大科庄隐爆角砾岩型钼矿床的辉钼矿 Re-Os 成矿年龄为 $147 \pm 7 \sim 145 \pm 1 \text{ Ma}$;小寺沟斑岩-矽卡岩型铜钼矿床的辉钼矿 Re-Os 成矿年龄为 $134 \pm 3 \text{ Ma}$;河北寿王坟矽卡岩型铜矿的辉钼矿 Re-Os 成矿年龄为 $148 \pm 4 \text{ Ma}$;大竹斑岩-矽卡岩钼矿床的辉钼矿 Re-Os 成矿年龄为 $144 \pm 7 \text{ Ma}$ 。上述年龄数据及本研究获得的年龄再次印证了:华北克拉通绝大多数为与小岩体有关的钼矿床、钼钨矿床和铜(钼)矿床形成于 140 Ma 左右^[21]。

7.2 地球动力学背景

东秦岭钼矿成矿时代局限于 $221.5 \pm 0.3 \sim 132.4 \pm 2.0 \text{ Ma}$ 之间(表1),主要出现在 $144.8 \pm 2.1 \sim 132.4 \pm 2.0 \text{ Ma}$ 之间,说明东秦岭钼矿是地质历史演化过程中特殊地球动力学背景的产物。毛景文等^[21]研究提出:在华北克拉通及其邻区(包括长江中下游地区),中生代金属矿床大规模成矿作用出现在 $200 \sim 160 \text{ Ma}$ 、 140 Ma 左右及 $130 \sim 110 \text{ Ma}$ 三个时期。通过对中生代地球动力学演化的分析研究,认为这三大成矿期所对应的地球动力学背景分别为华北板块与扬子板块的碰撞造山后陆内造山和伸展过程(指板块碰撞后同一方向或者同一应力场的持续挤压或松弛或伸展),以及 SN 主应力场向 EW 主应力场构造体制大转折和 EW 向岩石圈大规模减薄作用。东秦岭钼矿作为区内大规模成矿作用的组成部分,其成矿时限和背景基本相同。

自加里东运动开始,直到三叠纪早期,华北克拉通一直处于稳定发展阶段,同位素测年及其它资料表明:扬子克拉通与华北克拉通在 $238 \sim 218 \text{ Ma}$ 之间实现碰撞对接^[23~24],秦岭内部广泛发育的碰撞型花岗岩、商丹缝合带内代表造山后产物的环斑花岗岩^[25],表明两个大陆碰撞并闭合于印支期末。之后开始碰撞造山作用,黄龙铺钼矿床出现于扬子克拉通与华北克拉通最初碰撞对接后的陆内造山期间,挤压与伸展交替出现,钼矿床在壳幔强烈作用的伸展期形成,因此,

控矿断裂以 NW 向的张性断裂系统为主。碰撞造山作用导致一系列 EW 向大断裂向北的陆内俯冲活动,俯冲深度达地幔的栾川—固始深断裂及台缘区的马超营壳层大断裂也加入了这组 A 型俯冲带的活动^[26]。在 A 型俯冲过程中,深切上地幔的深大断裂带将岩石圈中的地幔薄弱带连接成树枝状网络,为新生软流体上升提供了良好的通道,打破了岩石圈原有的“平衡”,出现强烈的热、化学、流体及应力不平衡,其内有大规模流体渗入,并通过壳-幔相互作用,发生物质和能量的交换。由于剪切生热,以及流体的参与,大大降低了地壳岩石熔点而发生强烈深熔作用,形成以重熔太华群为主体的大规模剪切深熔花岗岩体。由于紧靠本区的马超营断裂下插深度较浅,未造成大规模幔源岩浆组分的进入,但因受到栾川—固始等深大地幔之断裂的远距离影响,导致本区在重熔太华群形成花岗岩浆的过程中,混入了一定数量的幔源成分。综合研究还揭示秦岭岩石圈不同程度减薄,发生区域性的岩石圈拆沉作用^[27~28],同时引发不同地段底侵或软流圈的上隆抬升。软流圈地幔物质的上侵直接引发了基性岩浆侵入地壳,最终导致高度分异的花岗质小斑岩体形成。碰撞造山作用结束于侏罗纪,约 $145 \sim 135 \text{ Ma}$,受特提斯构造域和太平洋构造域构造动力的此弱彼强的影响,整个中国大陆中东部的区域构造体制发生转换^[29~30],从印支期以近 EW 向构造为主、 $\text{NNE} \sim$ 近 SN 向构造为次进入以 $\text{NNE} \sim$ 近 SN 向构造为主,近 EW 向构造为次的构造—动力体制大转换的时期^[31~32]。包括东秦岭在内的华北克拉通南缘转入伸展构造环境。在此期间,深部岩浆以底劈形式侵位,形成南泥湖、上房沟等钼矿床。印支-燕山期的岩浆活动规律也很好印证了这一时期构造活动的特征:首先是侏罗纪中晚期的基性岩浆上侵,多沿一些张剪性的陡倾断裂充填,形成了本区广布的辉绿岩脉或岩墙群;然后酸性岩浆强烈活动,大规模广泛侵位,形成大花岗岩基和众多花岗斑岩岩株和岩脉。白垩纪早期沿三门峡-鲁山深大断裂出现广泛的中-酸性岩浆喷发,形成嵩县田湖、汝阳九店等地的火山岩盆地^[33]。岩浆活动由早到晚逐渐增强,岩浆成分由碱性-偏碱性-钙碱性依次演化,表明了这一时期板块间作用形式的转化,挤压造山活动渐趋缓和,伸展活动逐渐加强,成岩物质的物源逐步由深部转向较浅部。区内盆地的发育,则是这一构造转换的又一佐证,三叠纪-侏罗纪,豫西地区基本没有盆地发育,早白垩世突然有大量小型断陷盆地出现,从白垩纪至古近纪,小盆地逐渐合并,最终演化为规模较大的南阳山前断陷盆地^[34~35],表明该区总体上处于伸展拉张状

态。总之, 小型拉张盆地的存在、白垩纪富碱质花岗岩类和偏碱性火山岩的活动及拆离断层的生成均表明本区早白垩世转入伸展环境; 中生代侵入岩的 80% 以上集中于早白垩世的事实, 指示构造体制的大转换始于侏罗- 白垩之交^[33]。

综上所述, 东秦岭钼矿形成时代为 $221.5 \pm 0.3 \sim 132.4 \pm 2.0$ Ma, 主要出现在 221.5 ± 0.3 Ma 左右和 $144.8 \pm 2.1 \sim 132.4 \pm 2.0$ Ma 等时限之间, 其对应的地球动力学背景分别为华北克拉通与扬子克拉通的碰撞造山后陆内造山和伸展过程、中国东部构造体制大转换时期。

8 结论

(1) 对南泥湖钼矿田三个矿床的辉钼矿的 Re-Os 同位素精确测年, 获得南泥湖矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素模式年龄为 141.8 ± 2.1 Ma; 三道庄矿床的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 $144.5 \pm 2.2 \sim 145.0 \pm 2.2$ Ma, 平均为 145.0 ± 2.2 Ma; 上房沟矿床的辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 $143.8 \pm 2.1 \sim 145.8 \pm 2.1$ Ma, 平均为 144.8 ± 2.1 Ma; 雷门沟钼矿床的 2 件辉钼矿样品的 Re-Os 模式年龄为 $131.6 \pm 2.0 \sim 133.1 \pm 1.9$ Ma, 平均为 132.4 ± 2.0 Ma。将南泥湖钼矿田 6 件样品的结果进行等时线加权拟合, 得到一条相关性很好的等时线, 其等时线年龄为 141.5 ± 7.8 Ma (2 σ)。准确地厘定了上述 4 个钼矿床的成矿时代。

(2) 东秦岭钼矿形成时代局限于 $221.5 \pm 0.3 \sim 132.4 \pm 2.0$ Ma 之间, 主要出现在 221.5 ± 0.3 Ma 左右和 $144.8 \pm 2.1 \sim 132.4 \pm 2.0$ Ma 等时限之间, 其对应的地球动力学背景分别为华北克拉通与扬子克拉通的碰撞造山后陆内造山和伸展过程、中国东部构造体制大转换时期。

致谢: 本次研究野外工作期间, 得到了栾川铝业公司李发本副总经理和秦玉辉工程师的热情支持和大力帮助; 室内测试得到国家地质实验测试中心杜安道研究员大力支持, 屈文俊副研究员、曾法刚副研究员为获取 Re-Os 等时线进行了化学分离和质谱测定等工作; 成文过程中得到了李厚民博士的大力帮助, 作者谨向他们表示衷心感谢!

参考文献

- [1] 张正伟, 邓军. 东秦岭钼矿带成矿背景与含矿岩体特征[A]. // 陈衍景, 张静, 赖勇主编. 大陆动力学与成矿作用[C]. 北京: 地震出版社, 2001, 100-109.
- [2] Jingwen Mao, Richard J. Goldfarb, Zhengwei Zhang, et al. Gold deposits in the Xiaolinling-Xiong'ershan region, Qinling

Mountains, central China[J]. Mineralium Deposita, 2002, 37(3-4): 306-325.

- [3] 朱炳泉. 矿石铅同位素三维拓扑图解用于地球化学省与矿种区划[J]. 地球化学, 1993, 22(3): 209-216.
- [4] Zhu B. Q. The mapping of geochemical provinces in China based on Pb isotopes[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1995, 55: 171-181.
- [5] 张乃昌, 阎景汉, 刘新年. 从重磁成果探讨我省深部构造及成矿作用[J]. 河南地质, 1986, 4(1): 16-22.
- [6] 周作侠, 李秉伦, 郭抗衡, 等. 华北地台南缘金(钼)矿床成因[M]. 北京: 地震出版社, 1993: 1-269.
- [7] 卢欣祥. 河南省秦岭-大别山地区燕山期中酸性小岩体的基本地质特征及成矿专属性[J]. 河南地质, 1983, 1(1): 49-55.
- [8] 卢欣祥, 于在平, 冯有利, 等. 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, 2002, 21(2): 168-178.
- [9] 安三元, 卢欣祥. 东秦岭斑岩组合的地质特征及成矿关系[A]. 徐克勤, 涂光炽主编. 花岗岩地质和成矿关系[C]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1984: 398-405.
- [10] 黄典豪, 吴澄宇, 杜安道, 等. 东秦岭地区钼矿床的铼-钼同位素年龄及其意义[J]. 矿床地质, 1994, 13(3): 221-230.
- [11] H. J. Stein, R. J. Markey, J. W. Morgan, et al. Highly Precise and Accurate Re-Os Ages for Molybdenite from the East Qinling molybdenum Belt, Shaannxi Province, China[J]. Economic Geology, 1997, 92: 827-835.
- [12] Li Yongfeng, Mao Jingwen, Guo Baojian, et al. Re-Os dating of molybdenite from the Nannihu Mo (W) orefield in East Qinling and its geodynamic significance[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2004, 78(2): 301-308.
- [13] 李永峰, 毛景文, 刘敦一, 等. 豫西雷门沟斑岩钼矿 SHR MP 锆石 U-Pb 及辉钼矿 Re-Os 测年及其地质意义[J]. 地质学报, 2005(待刊).
- [14] 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 等. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钼同位素地质年龄[J]. 岩矿测试, 2001, 20(4): 247-252.
- [15] Mao Jingwen, Yang Jianmin, Qu Wenjun, et al. Re-Os Age of Cu-Ni ores from the Huangshandong Cu-Ni Sulfide Deposit in the East Tianshan Mountains and Its Implication for Geodynamic Process[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 2003, 77(2): 220-226.
- [16] 罗铭玖, 张辅民, 董群英. 中国钼矿床[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 1991: 118-128, 403-408.
- [17] 黄典豪, 董群英, 甘志贤. 中国钼矿床[A]. // 宋叔和主编. 中国矿床[C]. 北京: 地质出版社, 1989: 482-512.
- [18] 胡受奚, 林潜龙, 陈泽铭, 等. 华北与华南古板块拼合带地质和成矿[M]. 南京: 南京大学出版社, 1988: 442-489.
- [19] 徐兆文, 邱检生, 任启江, 等. 河南栾川南部地区与 Mo-W 矿床有关的燕山期花岗岩特征[J]. 岩石学报, 1995, 11(4): 397-408.
- [20] 毛景文, Holly Stein, 杜安道, 等. 长江中下游地区铜金(钼)矿 Re-Os 年龄精测及其对成矿作用的指示[J]. 地质学报, 2004, 78(1): 121-131.
- [21] 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景: 从金属矿床年龄精测得到启示[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(4): 289-299.
- [22] 黄典豪, 杜安道, 吴澄宇, 等. 华北地台钼(铜)矿床成矿年代学

- 研究[J]. 矿床地质, 1996, 15(4): 365-373
- [23] 李曙光, Hart S R, 郑双根. 中国华北、华南陆块碰撞时代的 Sm-Nd 同位素年龄证据[J]. 中国科学(B 辑), 1989, 19(3): 312-319.
- [24] 李锦轶. 中朝地块与扬子地块碰撞的时限与方式-长江中下游地区震旦纪-侏罗纪沉积环境的演变[J]. 地质学报, 2001, 75(1): 25-34.
- [25] 卢欣祥, 董有, 常秋岭, 等. 秦岭印支期沙河湾奥长环斑花岗岩及其动力学意义[J]. 中国科学(D 辑), 1996, 26(3): 244-248.
- [26] 刘红樱, 胡受奚, 周顺之. 豫西马超营断裂带的控岩控矿作用研究[J]. 矿床地质, 1998, 17(1): 70-81.
- [27] 邓晋福, 赵海玲, 莫宣学, 等. 中国大陆根柱构造——大陆动力学的钥匙[M]. 北京: 地质出版社, 1996: 40-82.
- [28] 高山, 张本仁, 金振民. 秦岭—大别造山带下地壳拆沉作用[J]. 中国科学, 1999, 29(6): 532-541.
- [29] 任纪舜. 论中国大陆岩石圈构造的基本特征[J]. 中国区域地质, 1991, 2: 289-293.
- [30] 卢欣祥. 秦岭花岗岩揭示的秦岭构造演化过程[J]. 地球科学进展, 1998, 13(2): 213-214.
- [31] 任纪舜, 王作勋, 陈炳蔚, 等. 从全球看中国大地构造- 中国及邻区大地构造图简要说明[M]. 北京: 地质出版社, 2000: 1-38.
- [32] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [33] 王志光, 崔毫, 徐孟罗, 等. 华北地块南缘地质构造演化与成矿[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1997: 1-296.
- [34] 河南省地质矿产局. 河南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- [35] 陈衍景, 富士谷. 豫西金矿成矿规律[M]. 北京: 地震出版社, 1992: 1-46.
- [36] Du Andao, He Hongliao, Yin Ningwan, et al. A study of the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites [J]. Acta Geologica Sinica, 1995, 8: 171-181.

RE-OS ISOTOPIC AGES OF MO DEPOSITS IN EAST QINLING AND THEIR GEODYNAMIC SETTINGS

LI Yong-feng^{1,2}, WANG Chun-qi^{1,2}, BAI Feng-jun^{1,2}, SONG Yan-ling³

(1. Faculty of Geosciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Henan Bureau of Geology and Mineral Resources for Nonferrous Metals, Zhengzhou 450052, China;

3. Team 11 of Henan Nonferrous Geological Exploration Institute, Shangqiu 476000, China)

Abstract: The East Qinling molybdenum metallogenic belt is located on the southern margin of the North China craton. Molybdenum deposits are mostly concentrated in a zone stretching from the Jinduicheng area of Shaanxi Province in the west to the Nannihu-Sandaozhuang-Shangganggou area of Luanchuanxian and the Lemengou of Songxian in western Henan province. The major types of molybdenum deposits are porphyry and porphyry skarn, less are types of hydrothermal carbonatite vein. The contents of ¹⁸⁷Re and ¹⁸⁷Os of molybdenite of the molybdenum deposits are determined by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS), with analytical errors of Re and Os between 0.11-0.4% (2 σ). The obtained results show that the Re-Os model ages are between 145.8 \pm 2.1~141.8 \pm 2.1 Ma; 141.8 \pm 2.1 Ma for the Nannihu deposit, 145.4 \pm 2.0~144.5 \pm 2.2 Ma (average: 145.0 \pm 2.2 Ma) for the Sandaozhuang deposit and 145.8 \pm 2.1~143.8 \pm 2.1 Ma (average: 144.8 \pm 2.1 Ma) for the Shangganggou deposit and 131.6 \pm 2.0~133.1 \pm 1.9 Ma (average: 132.4 \pm 2.0 Ma) for the Lemengou deposit. Re-Os isotopic dating for the molybdenite in the deposits shows an isochron age of 141.5 \pm 7.8 Ma (2 σ), with errors of Re/Os ages between 2.0-2.2%. The mineralization ages of the molybdenum deposits in East Qinling are within 221.5 \pm 0.3~132.4 \pm 2.0 Ma, and mainly cluster two pulses of 221.5 \pm 0.3 Ma and 144.8 \pm 2.1~132.4 \pm 2.0 Ma in combination of former research. The former pulse geodynamically correspond to the extensional periods of postcollision orogenic process between North China and Yangtze cratons. The latter pulse correspond to the transformation period of the tectonic system from NS to nearly EW directions in East China.

Key Words: molybdenum deposits, mineralization ages, Re-Os isotope, geodynamics, East Qinling