

豫西沙坡岭钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素 年龄及其地质意义

刘 军^{1, 2}, 武 广^{1, 3}, 贾守民⁴, 李忠权⁵
孙亚莉⁶, 钟 伟¹, 朱明田^{1, 2}

1. 中国科学院广州地球化学研究所成矿动力学重点实验室, 广东 广州 510640;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;
3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;
4. 河南省灵宝市黄金机械有限责任公司, 河南 灵宝 472500;
5. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室(成都理工大学), 四川 成都 610059;
6. 中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学和地球化学重点实验室, 广东 广州 510640

【摘要】 河南省沙坡岭钼矿床是东秦岭钼矿带东段新发现的热液脉型钼矿床, 通过对矿石中 5 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素定年, 获得 125.4 Ma~129.4 Ma 的模式年龄, 加权平均年龄为 $127.22 \text{ Ma} \pm 0.85 \text{ Ma}$, 得到一个相关性较好的 $128.1 \text{ Ma} \pm 7.1 \text{ Ma}$ 的等时线年龄, 表明沙坡岭钼矿床形成于燕山中晚期。沙坡岭钼矿床辉钼矿的 $w(\text{Re})$ 高达 $147.2 \times 10^{-6} \sim 307.8 \times 10^{-6}$, 与陕西黄龙铺钼矿床中的 Re 质量分数接近, 表明有幔源物质和/或流体参与了成矿过程, 暗示沙坡岭钼矿床的形成与中国东部的大规模岩石圈减薄事件有关。沙坡岭钼矿床深部可能存在斑岩型钼矿化, 具有较大的找矿潜力。

【关键词】 Re-Os 同位素定年; 辉钼矿; 沙坡岭钼矿床; 豫西地区; 东秦岭钼矿带
中图分类号: P618.65; P597+.3 文献标识码: A
文章编号: 1001-6872(2011)01-0056-07

0 引 言

东秦岭钼矿带是世界最大的钼矿带之一, 可与

美国西部的 Climax-Henderson 斑岩钼矿带相媲美, 更是我国最重要的钼矿带^[1]。该钼矿带西起陕西省金堆城地区, 东至河南省嵩县雷门沟地区, 目前已发现东沟、金堆城、南泥湖、三道庄、上房沟等超大型钼

收稿日期: 2010-06-22; 改回日期: 2011-02-06

基金项目: “十一·五”国家科技支撑计划项目(编号: 2006BAB01A02 和 2007BAB25B03); 河南省灵宝市金源矿业有限责任公司博士后项目(200906001)

作者简介: 刘 军, 男, 27 岁, 博士生, 矿床学专业, 研究方向: 热液矿床成矿理论. E-mail: baoguoti@163.com

通讯作者: 武 广, 男, 45 岁, 研究员(博士), 矿床学和地球化学专业, 研究方向: 热液矿床成矿理论与预测. E-mail: wuguang@gig.ac.cn

矿床和雷门沟、汤家坪、石家湾、黄龙铺等大型钼矿床以及秋树湾中型铜钼矿床等一系列矿床。东秦岭钼矿带成矿时代主要集中于燕山期^[2], 亦有少量矿床形成于印支期^[2]和中-一新元古代^[3]。矿床类型主要为斑岩型和斑岩-矽卡岩复合型^[2]。但近年来东秦岭地区又陆续发现了一些脉状钼矿床, 如洛宁县寨凹石英脉型-构造蚀变岩型钼矿床^[3]、方城县土门萤石脉状-构造蚀变岩型钼矿床、嵩县纸房石英脉型钼矿床、灵宝市大湖石英脉型钼矿床^[4]。关于东秦岭钼矿带燕山期成岩成矿的构造背景目前还存在较多争议, 主要有 3 种观点: (1) 成岩成矿作用发生于大陆内部的挤压环境, 含矿岩体为 I 型花岗岩^[5]; (2) 成矿岩体主要为 A 型俯冲产生的碰撞型花岗岩, 成岩成矿作用发生在碰撞造山过程的挤压-伸展转变期^[6]; (3) 成岩成矿作用发生在造山作用后的构造体制大转折晚期和岩石圈大规模快速减薄阶段^[7]。太古宇太华岩群是我国重要的金矿富集层位, 然而钼矿床却较少发现, 近年发现的沙坡岭钼矿床就产于东秦岭熊耳山地区太华岩群变质岩中, 矿

化呈细脉、网脉状。该矿床研究程度低, 前人的工作主要集中于成矿岩体年代学^[8]和岩石地球化学方面^[9], 为此, 希望详细的矿床地质特征研究及辉钼矿 Re-Os 同位素定年、矿床成因类型及形成的地球动力学背景探讨, 能够就矿床成因类型、构造背景及成矿潜力作进一步研究, 并为太古宇太华岩群中寻找该类型矿床提供理论支撑和借鉴。

1 区域地质背景及矿床地质特征

1.1 区域地质背景

秦岭造山带夹于三门峡-宝丰断裂(三宝断裂)与龙门山-大巴山断裂之间, 又以徽成盆地界划分为东秦岭和西秦岭两部分。东秦岭地区的三宝断裂、栾川断裂和商丹断裂将东秦岭造山带由北向南划分为华北克拉通南缘(华熊地块)、北秦岭造山带和南秦岭造山带。目前东秦岭地区钼矿床主要分布于华北克拉通南缘和北秦岭造山带(图 1)。

东秦岭地区出露地层主要有太古宇太华群和登

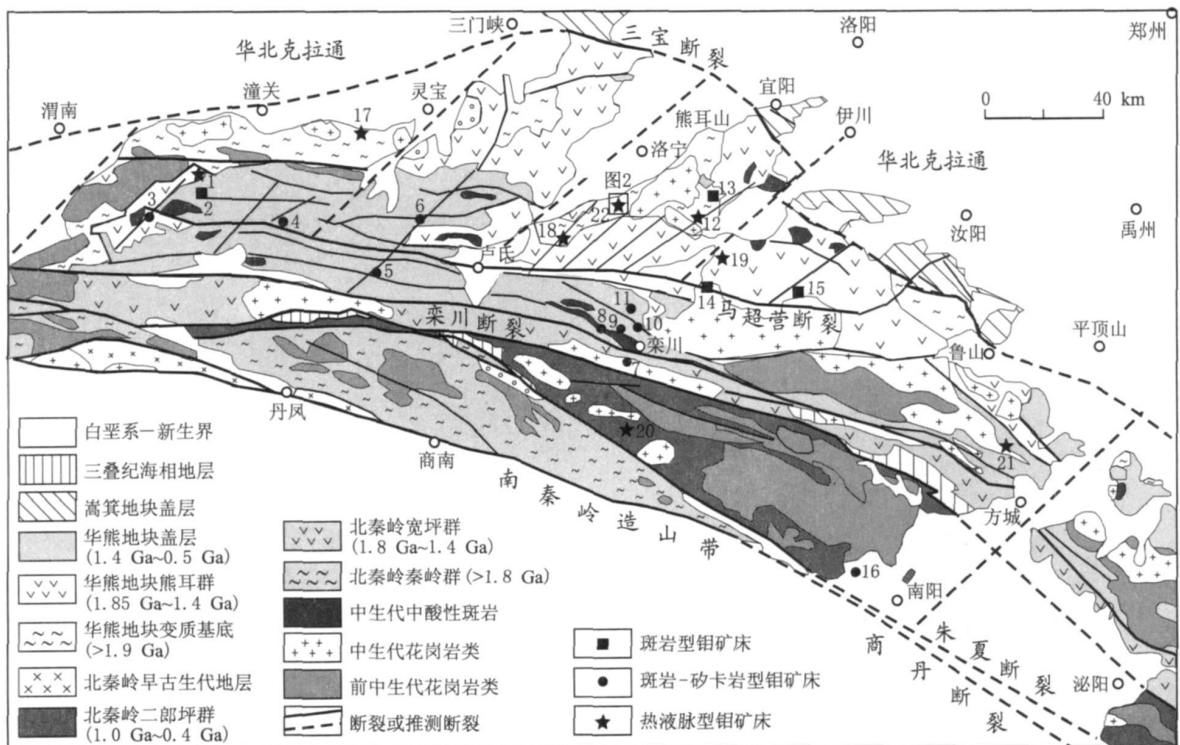


图 1 东秦岭钼矿带地质和钼矿床分布简图(据李浩, 2007^[1], 修改)

矿床编号及名称: 1. 黄龙铺; 2. 石家湾; 3. 金城堆; 4. 木龙沟; 5. 夜长坪; 6. 银家沟; 7. 石宝沟; 8. 上房沟; 9. 南泥湖; 10. 三道庄; 11. 马圈; 12. 黄水庵; 13. 雷门沟; 14. 鱼池岭; 15. 东沟; 16. 秋树湾; 17. 大湖; 18. 寨凹; 19. 纸房; 20. 太平镇; 21. 土门; 22. 沙坡岭
Fig. 1 Sketch geological map of Mo ore belt of the East Qinling, showing locations of major Mo deposits(modified after reference^[1])

封群结晶基底、中元古界熊耳群中基性火山岩、中-新元古界变质碎屑岩和碳酸盐岩、寒武系和下奥陶统碎屑岩和碳酸盐岩, 由于上奥陶统至下石炭统缺

失, 海陆交互的中-上石炭统陆相碎屑岩和碳酸盐岩平行不整合覆盖在早期的地质体之上。局部出现二叠系、三叠系和侏罗系-白垩系陆相碎屑沉积

岩^[9]。区域构造以NW向构造为主并叠加NE向构造^[2]。NW向断裂从北向南主要有三宝断裂、马超营断裂、栾川断裂和商丹断裂等。NE向断裂主要集中在栾川断裂以北,包括金堆城-青冈坪断裂、洛宁断裂、汝阳断裂、康山-七里坪断裂和红庄-陶村断裂等,这些北东向断裂是南北陆块在中生代沿马超营断裂陆陆俯冲而派生的次一级断裂^[10]。区内岩浆活动强烈,除产出中-新元古代碱性花岗岩外,加里东期岩体主要分布在洛南-栾川断裂的南侧,海西期花岗岩分布于北秦岭构造带的河南狮子坪地区,印支-燕山期岩浆活动最为强烈,以酸性侵入岩及次火山岩为主。

1.2 矿床地质特征

沙坡岭钼矿床位于河南省洛宁县城南25 km处,大地构造位置属于华北克拉通南缘,矿床位于马超营断裂以北、熊耳山西段(图1)。

矿区内出露地层主要为新太古代太华群深变质岩系,由角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩和斜长角闪岩等组成,西南角有少量第四系冲、洪积物。区内断裂构造发育,主要有南北向、北北东向和北东向断裂。侵入岩主要为燕山期花山岩体,平面形态为近东西向椭圆形,岩体呈岩基状产出,侵位于太华岩群中(图2a)。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 $5\text{ mm} \times 9\text{ mm} \sim 13\text{ mm} \times 20\text{ mm}$,基质粒径 $1.2\text{ mm} \times 1.9\text{ mm} \sim 6.5\text{ mm} \times 9.5\text{ mm}$,斑晶主要为微斜条纹长石(30%~35%),斜长石和石英少量;基质为斜长石(40%~45%)、石英(15%)、角闪石(4%~5%)、黑云母(3%~4%)、微斜条纹长石(3%~5%);副矿物常见榍石、磁铁矿、磷灰石和锆石。其次是元古宙辉长岩、辉绿岩脉,一般规模较小,呈椭圆形、不规则状顺层产出(图2b)。

沙坡岭钼矿床位于花山岩体与太华群深变质岩系的外接触带处,矿体呈脉状或网脉状分布于太华群的构造裂隙中,本区矿化石英脉厚度很小,多为数毫米到数厘米,所圈定矿体是众多薄矿化石英脉集合体。矿体走向为近南北向或北北东向,倾向南东,倾角一般 $40^\circ \sim 60^\circ$,矿体长度介于 $150\text{ m} \sim 620\text{ m}$,厚度一般 $3\text{ m} \sim 6\text{ m}$ 。主要属于隐伏矿体,在地表有少量出露。目前探明钼矿石量 $1\ 063\ 67 \times 10^4\text{ t}$,钼金属量 $8\ 461\text{ t}$,平均品位0.08%。矿体围岩及夹石主要为角闪斜长片麻岩,局部为斜长角闪岩。

钼矿化主要见于钾长石-石英细脉和网脉中(照片1a~d),其主要分布于太华岩群构造裂隙中,宽度一般 $< 1\text{ cm} \sim 2\text{ cm}$,部分可达 $4\text{ cm} \sim 7\text{ cm}$ 。黄铁

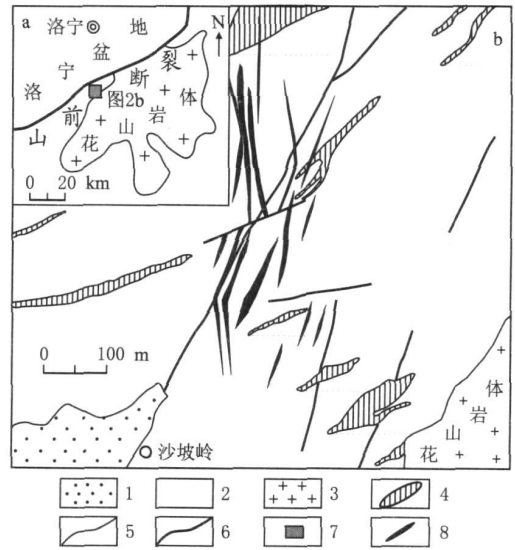


图2 沙坡岭钼矿床地质简图

1. 第四系; 2. 太古宇太华岩群; 3. 白垩纪花岗岩; 4. 元古宙辉长岩、辉绿岩; 5. 地质体界线; 6. 断裂; 7. 研究区; 8. 钼矿体

Fig. 2 The geological sketch map of the Shapoling Mo deposit

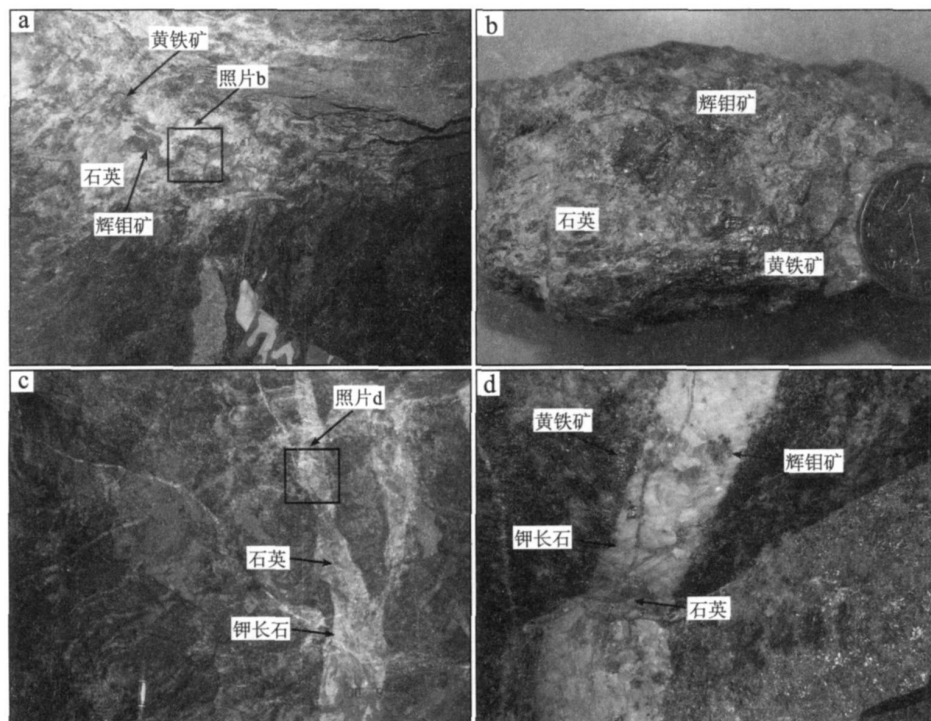
矿化-钾长石化石英脉以近南北走向为主,其次为北北东走向,脉体与围岩界线清晰,脉壁平直,形态规整,有时可出现分枝复合与尖灭再现现象。辉钼矿沿黄铁矿化-钾长石化石英脉的脉壁呈薄膜状分布,厚度 $1\text{ mm} \sim 2\text{ mm}$ 。黄铁矿化-钾长石化石英脉呈单体出现,或者不同方向脉体相互交叉及交切的群体出现。

围岩蚀变发育,主要包括硅化、钾化和青磐岩化。其中,辉钼矿化与硅化和钾化关系密切;青磐岩化分布广泛,但蚀变强度不高,多分布于钾化带的周围。

矿石类型包括细脉状矿石、细脉浸染状矿石、细脉-网脉状矿石和斑点-不规则团块状矿石(照片1a~d)。矿石中金属矿物有辉钼矿、黄铁矿、磁铁矿和黄铜矿等。辉钼矿多呈鳞片状集合体嵌布,沿裂隙充填,少数呈浸染状分布于脉石石英及长石粒间。黄铁矿多呈星散状、团块状和脉状分布于矿体中,或呈脉状、浸染状分布于围岩中。钾长石和石英是与辉钼矿化密切相关的主要脉石矿物,石英多分布于脉体中部,钾长石分布于脉体边部(照片1c, d)。

2 样品特征与分析方法

用于年龄测定的5件辉钼矿样品均采自沙坡岭钼矿床的PD525坑道,样品均为石英细脉型钼矿石。样品经粉碎、分离、粗选和精选,获得纯度 $> 99\%$ 的辉



照片 1 沙坡岭钼矿床矿石类型

a. 石英-辉钼矿-黄铁矿脉; b. 浸染状辉钼矿; c. 石英-钾长石-辉钼矿-黄铁矿脉; d. 鳞片状辉钼矿与钾长石共生
Photo 1 Open-air photos of Ore types from the Shapoling Mo deposit

钼矿单矿物, 辉钼矿晶体新鲜、无氧化、无污染。辉钼矿样品分解, Re, Os 纯化分离前处理在中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学和地球化学重点实验室完成, Re, Os 含量 ICP-MS 分析在中国地质调查局青岛海洋地质研究所完成。

样品测试前处理及测试方法参见文献[11], 并在此基础上进行部分改进: 1) 称样后, 依次加入 NaOH 和 Na₂O₂, 置于马弗炉熔融, 避免了原分解技术称样后, 加 Na₂O₂ 熔融之前, 只用 NaOH 与样品熔融时伴有的喷溅现象; 2) 丙酮萃取 Re 后, 有机相直接置于电热板上加热挥发, 取代了三氯甲烷和水反萃取 Re 步骤; 3) 从分解样品中分离纯化 Os, 采用 NaClO₄ 氧化剂, 替代了较贵的 Ce(SO₄)₂。因 Os 含量低, 辉钼矿 Re-Os 年龄数据的可靠性关键取决于分析数据的质量。以 Os 最高价态氧化物 OsO₄ 水溶液进样, Os 的 ICP-MS 测试灵敏度被提

高了 40 倍以上^[12], 从而获得了准确的 Os 分析数据。试验采用国家标准物质 GBW04435 和 GBW04436 为标样, 监控化学流程和分析数据的可靠性。

3 测试结果

5 件辉钼矿样品 Re-Os 同位素测试结果(表 1)显示: 辉钼矿 $w(Re)$ 介于 $147.1674 \times 10^{-6} \sim 307.8176 \times 10^{-6}$ 之间, 5 件辉钼矿样品获得相近的 Re-Os 模式年龄值 ($125.4 \text{ Ma} \pm 2.2 \text{ Ma} \sim 129.4 \text{ Ma} \pm 3.4 \text{ Ma}$), 采用 ¹⁸⁷Re 衰变常数 $\lambda = 1.666 \times 10^{-11} / \text{a}^{[13]}$, 利用 ISOPLOT 软件^[14]对获得的 5 个数据进行等时线计算, 得到等时线年龄为 $128.1 \text{ Ma} \pm 7.1 \text{ Ma} (2\sigma)$, 初始 ¹⁸⁷Os 为 -2 ± 13 , MSWD = 0.59, 数值较小, 说明等时线年龄可靠(图 3a)。模式年龄加权

表 1 沙坡岭钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄测定结果

Table 1 Re-Os isotopic age of molybdenite from the Shapoling Mo deposit

样品号	样重 / g	$w(Re) / 10^{-6}$		$w(^{187}Re) / 10^{-6}$		$w(^{187}Os) / 10^{-9}$		模式年龄 / Ma	
		测定值	2 σ	测定值	2 σ	测定值	2 σ	测定值	2 σ
Hsp1-3a	0.030 4	307.817 6	12.854 6	193.475 4	8.079 6	417.603 4	0.224 6	129.4	3.4
Hsp1-3d	0.039 8	186.529 7	5.124 8	117.241 2	3.221 2	245.225	0.134	125.4	2.2
Hsp1-6a	0.030 3	147.167 4	3.262 6	92.500 5	2.050 6	196.781 1	0.079 2	127.6	1.8
Hsp1-6F1	0.030 6	259.888 6	7.429	163.350 2	4.669 4	346.319	0.264 4	127.1	2.2
Hsp1-7	0.035 0	172.116 7	2.820 8	108.182 1	1.773	229.806 9	0.149	127.4	1.4

注: ①测试单位: 中国科学院广州地球化学研究所同位素年代学和地球化学重点实验室, ②模式年龄 $t = 1/\lambda \ln(1 + ^{187}Os / ^{187}Re)$, 其中 $\lambda(^{187}Re) = 1.666 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$, 不确定值是 2 σ 水平

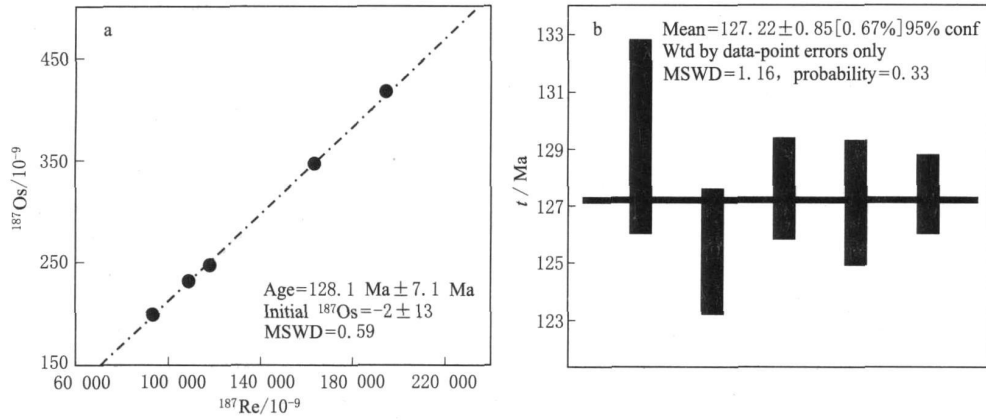


图 3 沙坡岭钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素等时线(a)和模式年龄加权平均值(b)

Fig. 3 Re-Os isochron (a) and weighted mean of Re-Os model ages (b) of molybdenites from the Shapoling Mo deposit

平均值为 $127.22 \text{ Ma} \pm 0.85 \text{ Ma}$, $\text{MSWD} = 1.16$ (图 3b), 等时线年龄与模式年龄加权平均值非常接近, 等时线年龄代表了辉钼矿的结晶时间, 即沙坡岭钼矿床的成矿年龄为 $128.1 \text{ Ma} \pm 7.1 \text{ Ma}$ 。

4 讨 论

4.1 东秦岭钼矿床成矿时代

近年来大量的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄、与成矿密切相关的侵入岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和矿床地质的研究, 均认为辉钼矿 Re-Os 同位素年龄能准确代表矿床的成矿时代^[5]。根据东秦岭地区钼矿床辉钼矿 Re-Os 年龄的统计结果(表 2), 东秦岭地区钼矿床的成矿时代可以划分为 4 个时期:

1) 中元古代早期 (1700 Ma ~ 1800 Ma); 2) 印支期

(220 Ma ~ 230 Ma); 3) 燕山早期 (140 Ma ~ 150 Ma), 即侏罗纪—白垩纪之交; 4) 燕山中晚期 (120 Ma ~ 130 Ma), 即早白垩世中晚期。中元古代早期东秦岭地区形成的钼矿床目前仅发现了寨凹钼矿床, 该矿床形成于中元古代早期华北克拉通伸展-裂解环境, 与熊耳群火山岩浆活动关系密切^[3]; 印支期东秦岭地区的古特提斯洋已完全闭合并开始转入陆陆碰撞造山过程及造山后伸展环境^[6], 期间形成了大湖钼矿床和黄龙铺钼矿床; 燕山早期华北东部处于挤压向伸展的构造体制转折期, 东秦岭地区在这种构造体制下发生了大规模的钼成矿作用^[17], 这一时期形成的典型钼矿床有金堆城、南泥湖、上房沟、三道庄和秋树湾等钼矿床; 燕山中晚期华北地区发生了大规模岩石圈减薄事件^[18], 岩浆活动强烈, 形成了雷门沟、沙坡岭和东沟等钼矿床。

表 2 东秦岭钼矿床辉钼矿 Re 含量

Table 2 Re contents of molybdenites from the Mo deposits of Mo ore belt of the East Qinling

矿床名称	类型	$w(\text{Re}) / 10^{-6}$		成矿年龄 / Ma	文献
		范围	平均值(样品数)		
寨凹	石英脉型	0.665 ~ 4.832	3.045(22)	1680 ± 24 ~ 1831 ± 29	[3]
大湖	石英脉型	0.9 ~ 3.4	2.1(6)	215.4 ± 5.4 ~ 255.6 ± 9.6	[4]
黄龙铺	碳酸岩脉型	256.0 ~ 633.1	428.4(5)	220 ± 5 ~ 230 ± 7	[2]
南泥湖	斑岩型-砂卡岩型	22.3 ~ 53.7	36.7(4)	146 ± 5 ~ 156 ± 8	[19]
上房沟	斑岩型-砂卡岩型	19.2 ~ 20.2	19.6(2)	143.8 ± 2.1 ~ 145.8 ± 2.1	[20]
三道庄	斑岩型-砂卡岩型	15.2 ~ 27.5	22.6(3)	144.5 ± 2.2 ~ 145.4 ± 2	[20]
秋树湾	斑岩-砂卡岩型	112.7 ~ 180.0	151.8(6)	145.6 ± 1.8 ~ 148.0 ± 2.2	[21]
鱼池岭	斑岩型	16.8 ~ 81.1	40.264(5)	134.3 ± 2.0 ~ 141.8 ± 1.6	[22]
金堆城	斑岩型	12.9 ~ 19.7	16.1(3)	129 ± 7 ~ 139 ± 3	[2]
雷门沟	斑岩型	18.4 ~ 25.9	22.2(2)	131.6 ± 2.0 ~ 133.1 ± 1.9	[23]
石家湾	斑岩型	10.17	10.17(1)	138 ± 8	[2]
沙坡岭	斑岩型	147.2 ~ 307.8	214.7(5)	128.1 ± 7.1	
东沟	斑岩型	4.0 ~ 4.2	4.1(2)	115.5 ± 1.7 ~ 116.5 ± 1.7	[24]

4.2 沙坡岭钼矿床成因类型及找矿前景

东秦岭地区绝大多数钼矿床的形成与该区分布广泛的燕山期浅成中酸性岩体有关, 小岩体控制了钼矿的形成^[25]。花山岩体位于沙坡岭矿区南东, 呈岩基状产出, 侵入于太华群中, 接触界面呈不规则港

湾状。沙坡岭钼矿床位于花山岩体与太华群变质岩的外接触带, 矿体围绕花山岩体呈细脉状和网脉状产出, 产状受花山岩体顶面的影响。钼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。地表和浅部表现出

中-高温热液脉型矿化特征。沙坡岭钼矿床的围岩蚀变组合由内向外依次出现钾长石化、硅化-绢云母化、绿帘石化, 这又与典型的斑岩型矿化的蚀变特征一致, 而且矿区内出露强蚀变的斑岩露头。物化探工作亦表明, 矿区内存在一个近等轴状的负磁异常区, 对应着钼矿化所在的位置, Mo 含量从中心向四周逐渐降低^[26]。矿床地质、矿化特征表明, 沙坡岭钼矿床深部可能存在斑岩型矿化, 地表及浅部热液脉型矿化可能是深部斑岩型矿化的浅部显示。花山花岗岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄为 $132.0 \text{ Ma} \pm 1.6 \text{ Ma}$ ^[7], 沙坡岭钼矿床的成矿时间略晚于花山岩体的结晶时间。综上所述, 认为沙坡岭钼矿床与花山岩体演化晚期形成的斑岩体有关, 深部具有较大的找矿潜力。

4.3 成矿物质来源和成矿动力学背景

Re 在地球化学分类中属难熔的高度亲铁元素, 倾向富集于地幔或基性-超基性岩石中, 因此一些学者主张花岗岩和矿床中的 $w(\text{Re})$ 可以作为成岩成矿物质的示踪剂^[27]。中国钼矿床辉钼矿中的 $w(\text{Re})$, 以矿床成矿母岩为 M 型、I 型、S 型花岗岩来划分, 其辉钼矿中的 $w(\text{Re})$ 变化规律为 $n \times 10^{-4} \rightarrow n \times 10^{-5} \rightarrow n \times 10^{-6}$, 即呈数量级下降^[28]。东秦岭地区钼矿床辉钼矿中的 $w(\text{Re})$ 变化较大(表 2), 表明成矿物质来源的多样性。其中, 寨凹钼矿的辉钼矿 $w(\text{Re})$ 为 $0.665 \times 10^{-6} \sim 4.832 \times 10^{-6}$ 、大湖钼矿的 $w(\text{Re})$ 为 $0.9 \times 10^{-6} \sim 3.4 \times 10^{-6}$ 、东沟钼矿的 $w(\text{Re})$ 为 $4.04 \times 10^{-6} \sim 4.19 \times 10^{-6}$, 暗示其成岩成矿物质主要源于地壳; 南泥湖、上房沟、三道庄、鱼池岭、金堆城、雷门沟和石家湾等钼矿床的辉钼矿 $w(\text{Re})$ 均在 $n \times 10^{-5}$ 数量级, 其成矿岩浆应为壳幔混源的 I 型; 秋树湾钼矿的辉钼矿 $w(\text{Re})$ 为 $112.7 \times 10^{-6} \sim 180.0 \times 10^{-6}$, 指示其主要物源为下地壳, 部分地幔物质参与了成矿作用^[21]; 黄龙铺矿床的辉钼

矿 $w(\text{Re})$ 高达 $256 \times 10^{-6} \sim 633 \times 10^{-6}$, 成矿物质应主要来自地幔^[3]。沙坡岭钼矿床的辉钼矿 $w(\text{Re})$ 高达 $147.2 \times 10^{-6} \sim 307.8 \times 10^{-6}$, 与黄龙铺钼矿床中的 $w(\text{Re})$ 接近, 表明有幔源物质和/或流体参与了成矿过程。华北地区岩石圈在 110 Ma~130 Ma 期间进入到快速减薄时期^[24], 岩石圈减薄导致软流圈地幔上涌, 在伸展体制下形成了小秦岭-熊耳山地区典型的变质核杂岩, 并伴随 EW 向深切至上地幔的深大断裂, 这些深大断裂为地幔物质上升提供了通道, 并破坏了岩石圈原有的物质能量平衡, 引起大规模流体渗入, 并通过壳-幔相互作用, 发生物质和能量的交换。上涌的软流圈地幔加热下地壳, 造成下地壳发生强烈深熔作用, 形成以重熔太华群为主体的大规模深熔花岗岩体, 如花山岩体^[30]。强烈的壳-幔物质交换作用和高热流场的形成引发了大规模成矿流体的形成、迁移和富集, 进而发生了大规模金钼成矿作用。沙坡岭钼矿床即形成于中国东部的大规模岩石圈减薄背景, 软流圈地幔物质和/或流体参与了钼成矿作用, 造成沙坡岭钼矿床辉钼矿中的 $w(\text{Re})$ 高。

5 结 论

5.1 沙坡岭钼矿床辉钼矿 Re-Os 模式年龄介于 $125.4 \text{ Ma} \sim 129.4 \text{ Ma}$, 等时线年龄为 $128.1 \text{ Ma} \pm 7.1 \text{ Ma}$, 表明沙坡岭钼矿床形成于燕山中晚期。

5.2 沙坡岭钼矿床的辉钼矿 $w(\text{Re})$ 高达 $147.2 \times 10^{-6} \sim 307.8 \times 10^{-6}$, 表明有幔源物质和/或流体参与了成矿过程, 暗示沙坡岭钼矿床的形成与中国东部的大规模岩石圈减薄事件有关。

5.3 沙坡岭钼矿床地表和浅部表现出中-高温热液脉型矿化特征, 但深部可能存在斑岩型矿化, 具有较大的找矿潜力。

参考文献

- [1] 李 诺, 陈衍景, 张 辉, 等. 东秦岭斑岩钼矿带的地质特征和成矿构造背景[J]. 地学前缘, 2007, 14(5): 186-198.
- [2] 黄典豪, 吴澄宇, 杜安道, 等. 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, 1994, 13(3): 220-210.
- [3] 李厚民, 叶会寿, 王登红, 等. 豫西熊耳山寨凹钼矿床辉钼矿铼-钨年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2009, 28(2): 133-142.
- [4] 李 诺, 孙亚莉, 李 晶, 等. 小秦岭大湖金钼矿床辉钼矿铼钨同位素年龄及印支期成矿事件[J]. 岩石学报, 2008, 24(4): 810-816.
- [5] 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.
- [6] 陈衍景, 隋颖慧, Pirajno F. CMF 模式的排他性依据和造山型钼矿实例: 东秦岭铁炉坪钼矿同位素地球化学[J]. 岩石学报, 2003, 19(3): 551-568.
- [7] 毛景文, 谢桂青, 张作衡, 等. 中国北方大规模成矿作用的期次及其地球动力学背景[J]. 岩石学报, 2005, 21(1): 169-188.
- [8] 毕献武, 骆庭川. 洛宁花山岩体地球化学特征及成因的探讨[J]. 矿物学报, 1995, 15(4): 433-441.
- [9] 毛景文, 叶会寿, 王瑞廷, 等. 东秦岭中生代钼铅锌银多金属矿床模型及其找矿评价[J]. 地质通报, 2009, 28(1): 72-79.
- [10] 陈衍景. 富士谷-豫西金矿成矿规律[M]. 北京: 地震出版社, 1992, 1-234.
- [11] 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 等. Carius 管溶样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[J]. 岩矿测试, 2001, 20(4): 247-252.
- [12] Sun Y L, Zhou M F, Sun M. Routine Os analysis by isotope dilution/inductively coupled plasma mass spectrometry: OsO₄ in water solution gives high sensitivity [J]. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2001, 16: 345-349.
- [13] Smoliar M L, Walker R J, Morgan J W. Re-Os ages of group IA, II A, IV A and IV B iron meteorites [J]. *Science*, 1996, 271: 1 099-1 102.
- [14] Ludwig K. *Isoplot/Ex Version 2.0: A geochronological toolkit for Microsoft Excel* [M]. Geochronology Center, Berkeley, Special Publication

1a, 1999.

- [15] Mao J W, Du A D, Seltmann R, *et al.* Re-Os ages for the Shameika porphyry Mo deposit and Lipovy Log rare metal pegmatite, central Urals, Russia [J]. *Mineralium Deposita*, 2003, 38: 251-257.
- [16] 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, 1-855.
- [17] 陈衍景, 李 晶, Pirajno F, 等. 东秦岭上宫金矿流体成矿作用: 矿床地质和包裹体研究[J]. 矿物岩石, 2004, 24(3): 1-12.
- [18] 刘 胤, 倪志耀, 翟明国, 等. 冀北赤城花岗岩的锆石 SHRIMP 年龄及其地质意义[J]. 矿物岩石, 2010, 30(2): 38-44.
- [19] 李永峰, 毛景文, 白凤军, 等. 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, 2003, 49(6): 652-659.
- [20] 李永峰, 王春秋, 白凤军, 等. 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, 2004, 18(6): 571-578.
- [21] 郭保健, 毛景文, 李厚文, 等. 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, 2006, 22(9): 2 141-2 148.
- [22] 李 诺, 陈衍景, 孙亚莉, 等. 河南鱼池岭钼矿床辉钼矿铼-钨同位素年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 2009, 25(2): 413-421.
- [23] 李永峰, 毛景文, 刘敦一, 等. 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[J]. 地质论评, 2006, 52(1): 122-131.
- [24] 叶会寿, 毛景文, 李永峰, 等. 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[J]. 地质学报, 2006, 80(7): 1 078-1 088.
- [25] 杨荣勇, 徐兆文, 陆现彩. 东秦岭钼矿带成矿岩体与非成矿岩体的对比研究[J]. 矿物岩石, 1996, 16(3): 49-53.
- [26] 苏 捷, 张宝林, 孙大亥, 等. 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[J]. 地质学报, 2009, 83(10): 1 490-1 496.
- [27] Stein H J, Markey R J, Morgan J W, *et al.* Highly precise and accurate Re-Os ages for molybdenite from the East Qinling molybdenum belt, Shaanxi Province, China [J]. *Economic Geology*, 1997, 92: 827-835.
- [28] Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H. 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*, 1999, 63(11-12): 1 815-1 818.
- [29] 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.

Re-Os ISOTOPIC DATING OF MOLYBDENITES FROM THE SHAPOLING MOLYBDENUM DEPOSIT IN WESTERN HENAN PROVINCE AND ITS GEOLOGICAL SIGNIFICANCE

LIU Jun^{1,2}, WU Guang^{1,3}, JIA Shou-min⁴, LI Zhong-quan⁵,
SUN Ya-li⁶, ZHONG Wei¹, ZHU Ming-tian^{1,2}

1. Key Laboratory of Metallogenic Dynamics, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

4. Henan Lingbao Machinery Limited Liability Company of Gold, Lingbao 472500, China;

5. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploration, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China;

6. Key Laboratory of Isotope Geochronology and Geochemistry, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

Abstract: The newly discovered Shapoling Mo deposit in the East Qinling Mo ore belt, Henan Province, is a hydrothermal vein-type Mo deposit. Five samples of molybdenite for Re-Os isotopic dating were analyzed and the model ages obtained ranged from 125.4 Ma to 129.4 Ma, with an average of 127.22 Ma ± 0.85 Ma, and with an isochronic age of 128.1 Ma ± 7.1 Ma. The age dating indicated that Shapoling Mo deposit was formed in the Middle-Late Yanshanian Period. The Re contents of the molybdenite in the Shapoling Mo deposit were up to 147.2 × 10⁻⁶ ~ 307.8 × 10⁻⁶, close to Re content of the Huanglongpu Mo deposit in Shanxi Province. It is showed that the formation of the Shapoling Mo deposit was related to large lithosphere thinning event of eastern China and the mantle-derived material and/or fluid was involved in ore-forming process. The porphyry Mo mineralization with great prospecting potential may exist in deep of the Shapoling Mo deposit.

Key words: Re-Os isotopic dating; molybdenite; Shapoling molybdenum deposit; western Henan Province; East Qinling molybdenum ore belt

ISSN 1001-6872(2011)01-0056-07; CODEN: KUYAE2

Synopsis of the first author: Liu Jun, male, 27 years old, a Ph D of mineral deposit. Now he is engaged in the research of hydrothermal metallogeny.