

文章编号:1672-6561(2014)01-0120-08

## 东秦岭华县西沟钼矿床 Re-Os 同位素年龄 及其地质意义

袁海潮<sup>1</sup>, 王瑞廷<sup>2,3</sup>, 焦建刚<sup>2</sup>, 李伍义<sup>1</sup>, 刘文庆<sup>1</sup>, 谭 雯<sup>1</sup>

(1. 西北有色地质勘查局 712 总队, 陕西 咸阳 712000; 2. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054;  
3. 西北有色地质勘查局地质勘查院, 陕西 西安 710054)

**摘 要:** 东秦岭华县西沟钼矿床位于华北陆块南缘老牛山岩体与华山岩体所夹持的 EW 向长廊中, 产出于太古界太华群黑云斜长片麻岩地层内。该矿床已经被确定为中型矿床。西沟钼矿区内构造发育, 岩浆活动强烈, 展布的多条长石-石英脉、碳酸盐脉型钼矿体主要受近 EW 向剪切带控制, 矿石类型以石英脉型、长石-石英脉型、方解石-石英脉型及蚀变岩型为主。应用 Re-Os 同位素地质年代学方法测得西沟钼矿床的成矿模式年龄为  $(206.7 \pm 2.8) \sim (214.7 \pm 2.8)$  Ma, 等时线年龄为  $(212.4 \pm 2.8)$  Ma, 属于印支晚期; 辉钼矿 Re 质量分数为  $(306.6 \sim 401.0) \times 10^{-6}$ , 暗示成矿物质主要来源于上地幔。区域成矿条件对比发现, 西沟钼矿床与黄龙铺钼矿床在成矿时代、成因类型等方面具有一致性, 矿床类型划归为长石-石英脉、碳酸盐脉型。依据化探异常及初步勘查结果, 预测西沟地区深部可能存在有隐伏岩体, 具有寻找大型钼矿床的潜力。

**关键词:** 钼矿床; 成矿时代; Re-Os 同位素; 成矿类型; 找矿潜力; 东秦岭

**中图分类号:** P597; P618.65 **文献标志码:** A

## Re-Os Isotopic Ages of Molybdenites from Xigou Mo Deposit in Huaxian of East Qinling and Their Geological Significance

YUAN Hai-chao<sup>1</sup>, WANG Rui-ting<sup>2,3</sup>, JIAO Jian-gang<sup>2</sup>, LI Wu-yi<sup>1</sup>, LIU Wen-qing<sup>1</sup>, TAN Wen<sup>1</sup>

(1. No. 712 Geological Team, Northwest Mining and Geological Exploration Bureau for Nonferrous Metals, Xianyang 712000, Shaanxi, China; 2. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 3. Geological Exploration Institution, Northwest Mining and Geological Exploration Bureau for Nonferrous Metals, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

**Abstract:** Xigou Mo deposit in Huaxian of East Qinling is located in the EW corridor which is clamped by Laoniushan and Huashan intrusions in the southern margin of North China Carton, and exposes in the biotite plagioclase gneiss formation of Archean Taihua Group. This deposit has been identified as a medium-sized deposit. The structure develops, the magmatic activity is strong, and some feldspar-quartz vein, carbonate vein types of Mo ore bodies are mainly controlled by the near EW shear zone in the Xigou Mo ore district. The mainly ore types are quartz vein, feldspar-quartz vein, calcite-quartz vein and altered rock. With the application of Re-Os isotopic geochronology method, the metallogenic model ages of Xigou Mo deposit are  $(206.7 \pm 2.8) \sim (214.7 \pm 2.8)$  Ma, and the isochron age is  $(212.4 \pm 2.8)$  Ma, which belongs to Late Indosinian. The mass fractions of Re from molybdenite are  $(306.6 \sim 401.0) \times 10^{-6}$ , indicating that the metallogenic substance is mainly derived from upper

收稿日期: 2014-03-05

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项项目(201111007-3); “十二五”国家科技支撑计划项目(2011BAB04B05)

作者简介: 袁海潮(1969-), 男, 陕西大荔人, 高级工程师, E-mail: yhc712@126.com。

mantle. The comparison of mineralogical condition shows that the metallogenic age and genetic type of Xigou Mo deposit are in accordance with that of Huanglongpu Mo deposit, and the deposit type is feldspar-quartz vein and carbonate vein. According to the geochemical anomaly and preliminary exploration, it is predicted that there is hidden intrusion in the deep of Xigou area which has a great potential for large-scale Mo deposit.

**Key words:** Mo deposit; metallogenic age; Re-Os isotope; metallogenic type; potential of exploration; East Qinling

## 0 引言

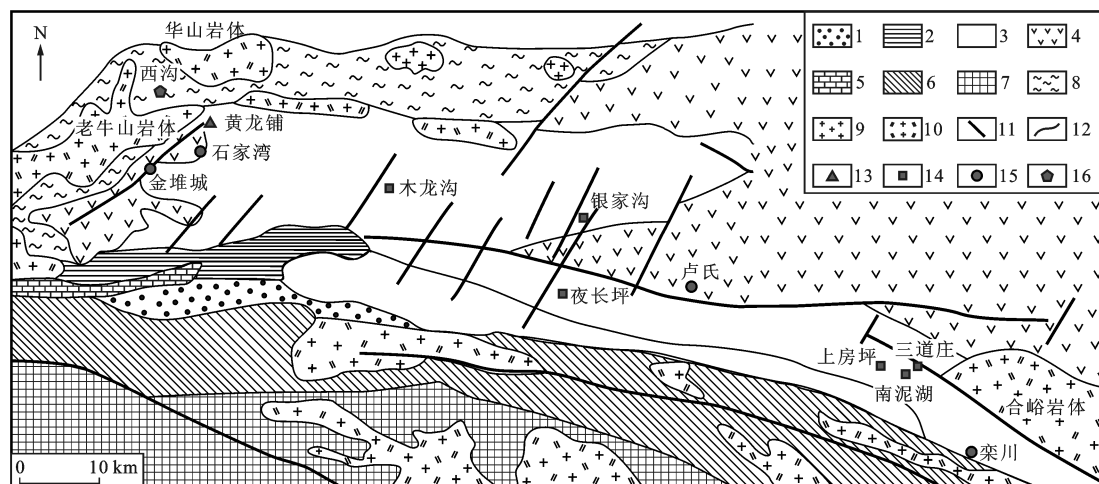
东秦岭地区是中国最大的钼多金属成矿带,长期的地质工作发现了金堆城、南泥湖、三道庄、上房沟、黄龙铺(大石沟)、石家湾、雷门沟、秦岭沟、文公岭等大中型钼矿床<sup>[1-7]</sup>,矿床主要赋存于中、上元古界地层中<sup>[8-9]</sup>,个别出露于太古宇太华群片麻岩<sup>[10]</sup>中,矿床主要类型包括斑岩型、斑岩-矽卡岩型,其次为斑岩-爆破角砾岩型、石英-碳酸盐脉型和构造蚀变岩型等。成矿时代大致可以分为印支期(210~230 Ma)<sup>[11]</sup>、燕山期早白垩世早期(140~145 Ma)<sup>[9,11]</sup>、早白垩世中晚期(110~138 Ma)<sup>[8,10-11]</sup>。

西沟钼矿床是东秦岭地区近年发现并有较大勘查进展的长石-石英脉型矿床,前人对该矿区地质、岩浆岩及矿床基本特征进行了研究<sup>[12-13]</sup>,但没有确定矿床的成矿类型、成矿时代以及花岗岩与钼矿的关系等。笔者以最新勘查进展为基础,应用 Re-Os 同位素法测定了西沟钼矿床的成矿时代,通过区域成矿条件与成矿特征对比,深入探讨了矿床的成矿

类型,认为该矿床为赋存于太古宇太华群地层、形成于印支晚期的长石-石英脉与碳酸盐脉型钼矿床,矿床向深部有较大延伸,并有可能形成斑岩型钼矿,从而为进一步矿床勘查提供理论依据。

## 1 区域地质

西沟钼矿床位于华北地块南缘豫西断隆区西段燕山期老牛山岩体与华山岩体所夹持的 EW 向长廊中,南与金堆城凹陷毗邻,北与汾渭断陷相接,呈 EW 向带状分布(图 1)。区域出露地层主要为太古宇太华群、中元古界熊耳群、上古古界官道口群与栾川群等,其中西沟钼矿出露于太华群黑云斜长片麻岩中。区域构造格架为近 EW 向与 NNE 向 2 组构造呈格子状相互交织,在 2 组断裂构造的交切点控制了众多中酸性小岩体的空间侵位。本区岩浆活动强烈,形成有老牛山、华山等花岗岩岩基,岩性主要为黑云二长花岗岩。此外,尚发育有花岗岩脉、花岗闪长岩脉、花岗细晶岩脉、花岗伟晶岩脉等众多脉岩。



1—白垩系砂页岩;2—寒武系灰岩;3—新元古界官道口群、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—太古界太华杂岩;9—燕山期花岗岩;10—燕山期二长花岗岩;11—断层;  
12—地质界线;13—碳酸盐型钼铅矿床;14—斑岩-矽卡岩型钼(钨)矿床;15—斑岩型钼矿床;16—石英脉型钼矿床;图件引自文献[14]

图 1 西沟钼矿床区域地质略图

**Fig. 1 Regional Geological Sketch Map of Xigou Mo Deposit**

2 矿床地质

该矿区出露地层主要为太古宙太华群黑云斜长片麻岩,多为北倾,呈单斜构造,岩石 Rb-Sr 同位素等时线年龄为 $(2\,549\pm 169)\text{Ma}^{[14]}$ 。表 1 展示了区内麦糠窑一带 6 条地质岩石剖面采集的 95 件未蚀

变黑云母斜长片麻岩的 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Ni、Cr、V、Ti、Mn、As、Sb、Bi、Mo、W 等 15 个元素含量统计结果。其中,Au、Ag、Pb、Zn、Mo、W、Ti、As、Sb 和 Bi 等元素含量较大陆地壳元素含量高,Pb、Mo、Au 成矿元素含量分别是大陆地壳的 14.3、9.1、4.2 倍,区内成矿条件有利。

表 1 西沟钼矿床片麻岩成矿及相关元素含量统计结果

Tab. 1 Statistical Results of Contents of Gneiss Mineralization and Related Elements from Xigou Mo Deposit

元素	黑云母斜长片麻岩元素含量	大陆地壳元素含量	元素浓集系数	元素	黑云母斜长片麻岩元素含量	大陆地壳元素含量	元素浓集系数
Au	$5.1\times 10^{-9}$	$1.21\times 10^{-9}$	4.2	Ti	$4\,700.0\times 10^{-6}$	$4\,196.00\times 10^{-6}$	1.1
Ag	$100.0\times 10^{-9}$	$52.00\times 10^{-9}$	1.9	Mn	$737.0\times 10^{-6}$	$1\,084.00\times 10^{-6}$	0.7
Cu	$21.0\times 10^{-6}$	$24.00\times 10^{-6}$	0.9	As	$18.7\times 10^{-6}$	$3.10\times 10^{-6}$	6.0
Pb	$179.6\times 10^{-6}$	$12.60\times 10^{-6}$	14.3	Sb	$0.7\times 10^{-6}$	$0.20\times 10^{-6}$	3.5
Zn	$78.0\times 10^{-6}$	$73.00\times 10^{-6}$	1.1	Bi	$0.5\times 10^{-6}$	$0.27\times 10^{-6}$	1.9
Ni	$20.0\times 10^{-6}$	$51.00\times 10^{-6}$	0.4	Mo	$5.9\times 10^{-6}$	$0.65\times 10^{-6}$	9.1
Cr	$25.0\times 10^{-6}$	$119.00\times 10^{-6}$	0.2	W	$2.3\times 10^{-6}$	$0.69\times 10^{-6}$	3.3
V	$94.0\times 10^{-6}$	$128.00\times 10^{-6}$	0.7				

注:大陆地壳元素含量引自文献[15]。

矿区断裂构造以 EW 向为主,其次为 NE 向及 NW 向。EW 向构造以王沟—麦糠窑沟墙剪切带( $F_4$ )、康沟—冰冷沟—苍家坪剪切带( $F_3$ )、草萍沟—阴司台—南台剪切带( $F_2$ )及石家沟—燕子沟剪切带( $F_1$ )为代表。4 条近 EW 向剪切带平面上表现为 2 个“入”字形,它们构成了本区构造的主体。断裂构造总体北倾,倾角  $45^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 。在该组构造控制下,区内岩体和部分岩脉多呈近 EW 向条带状分布(图 2)。矿区内出露西沟花岗岩、王家岔花岗岩以及麦糠窑、将军崖、雪花沟—阴司台花岗斑岩等小岩枝,且多沿区内构造呈 EW 向带状分布。花岗岩岩性主要为黑云母二长花岗岩。镜下显示:矿物组成

为钾长石(微斜长石、正长石),体积分数为  $30\%\sim 35\%$ ;斜长石(主要为钠-更长石)体积分数为  $30\%\sim 35\%$ ;石英体积分数为  $20\%\sim 25\%$ ,充填于长石粒间;黑云母体积分数为  $3\%\sim 5\%$ ,细片状,分布于长石粒间。副矿物主要有榍石、磷灰石、锆石。蚀变矿物有绢云母、高岭石、绿泥石等。

西沟钼矿床可划分南、北 2 个矿区,圈出矿化带 4 条,工业矿体 59 条,其中以 Mo-1 矿体规模较大(图 3)。Mo-1 矿体严格受近 EW 向断裂构造控制,赋矿岩石主要为中—深变质黑云斜长片麻岩。矿体长 2 800 m,厚度为 3.50~13.82 m,品位为  $0.077\%\sim 0.171\%$ 。伴生组分主要有硫、铅、银等。矿体主要

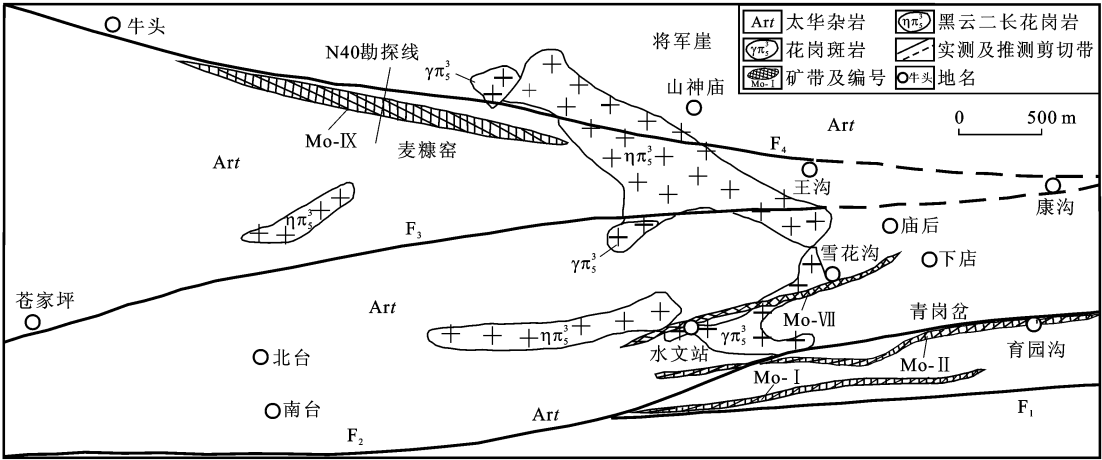


图 2 西沟钼矿床地质简图  
Fig. 2 Geological Sketch Map of Xigou Mo Deposit

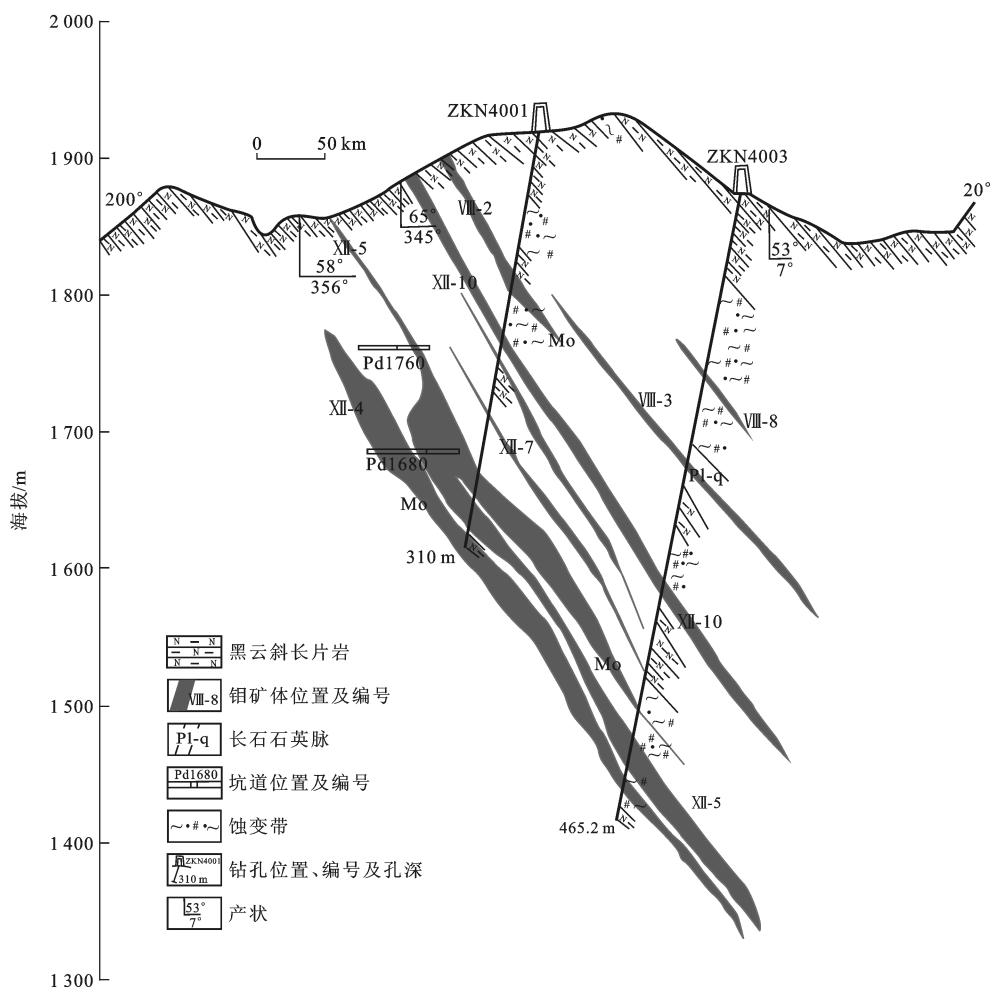


图 3 西沟钼矿床 N40 勘探线剖面

Fig. 3 Profile of Exploration Line N40 in Xigou Mo Deposit

由石英脉、长石-石英脉、方解石-石英脉及蚀变片麻岩组成,含矿脉体一般呈扁豆状产出,具尖灭再现、尖灭侧现的特征,产状总体与构造一致,但局部也见有脉体相互交错的关系。矿石均较为破碎,呈碎裂状、团块状、浸染状等。矿石矿物主要为黄铁矿、辉钼矿,其次为方铅矿、磁铁矿,还有少量黄铜矿等。黄铁矿在矿体中普遍发育,主要呈中-粗粒、他形-半自形晶,多呈集合体出现,形态为团块状、浸染状或细脉状沿脉体裂隙发育。辉钼矿主要呈他形-半自形细粒晶,多呈集合体发育,形态为细粒浸染状或团块状,有时呈细脉状、薄膜状,辉钼矿多和黄铁矿相伴生。方铅矿主要呈半自形,有时呈自形晶,多呈集合体形式出现,形态为团块状,有时呈脉状出现。矿石类型以“碎裂(钼天青石、方解石)长石石英脉型含铅辉钼矿石”为主。矿石构造主要有角砾状构造、星点状-星散状构造,其次有集合体状、毛毡状、花瓣状、带状-脉状构造、挠曲构造等(图 3)。

### 3 Re-Os 同位素测年

#### 3.1 样品描述及测试方法

用于 Re-Os 同位素测年的 4 件样品均采自西沟矿区南区,辉钼矿呈细脉状分布在石英脉中,或呈薄膜状产在裂隙壁上。辉钼矿样品直接从手标本上取得,首先通过重力、磁法进行分离,再在显微镜下进行详细观察,剔除不纯组分(图 4)。每件样品的纯度均大于 99%。辉钼矿颗粒细小,单颗粒粒径为 0.05~0.10 mm,可以避免大颗粒辉钼矿中由于 Re 和 Os 失偶而引起的测年误差<sup>[16-17]</sup>。辉钼矿的 Re-Os 同位素分析测试工作在国家地质测试中心 Re-Os 同位素实验室完成,采用 Carus 管封闭溶样分解样品。Re-Os 同位素分析原理及详细分析流程参考文献[18]、[19]。采用美国 TJA 公司生产的 TJAX-series 电感耦合等离子体质谱仪(美国 Thermo 公司)测定同位素比值。对于 Re,选择质量数 185、187,用质量数 190 监测 Os;对于 Os,选择质量数 186、



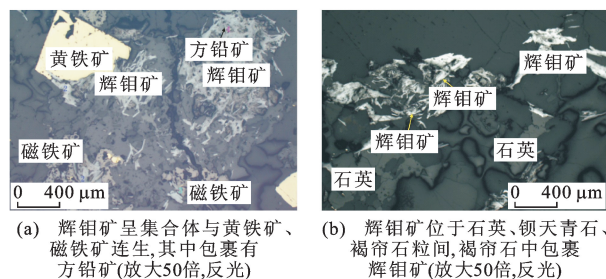


图 4 西沟钼矿床辉钼矿显微照片

Fig. 4 Microphotographs of Molybdenite from

## Xigou Mo Deposit

187、188、189、190、192, 用质量数 185 监测 Re。TJA X-series ICP-MS 测得 Re、Os 和  $^{187}\text{Os}$  含量(质量分数,下同)空白值分别为  $((0.009\ 2 \pm 0.001\ 3) \sim (0.040\ 9 \pm 0.001\ 8)) \times 10^{-9}$ 、 $((0.000\ 2 \pm 0.000\ 0) \sim (0.000\ 093 \pm 0.000\ 0)) \times 10^{-9}$  和  $((0.000\ 1 \pm 0.000\ 0) \sim (0.000\ 3 \pm 0.000\ 1)) \times 10^{-9}$ , 远小于所测样品和标样中 Re、Os 含量,因此不会影响实验结果。辉钼矿 Re-Os 定年实验误差为  $2\sigma$ ,  $w(\text{Os})_1$  是根据原子量表<sup>[18]</sup>和同位素丰度表<sup>[19]</sup>通过  $n(^{192}\text{Re})/n(^{190}\text{Os})$  测量值计算得出的 Os 含量<sup>[20-21]</sup>, 其中  $n(\cdot)/n(\cdot)$  为不同元素同位素比值,  $n(\cdot)$  为元素的物质的量。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。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度(1.02%), 置信度为 95%。为保证测试结果的可靠性,在本次测试过程中,分析了实验标准物质的 Re、Os 和  $^{187}\text{Os}$  含量,测试结果和黄龙铺、金堆城样品(GBW04435、GBW04436)的标准值见表 2。经对比发现本次测试结果相当可靠,因此,所获得的辉钼矿的 Re-Os 数据亦相当精确。

表 2 黄龙铺与金堆城辉钼矿实验标准物质的

## Re-Os 同位素测定结果和标准值

Tab. 2 Certificated Values and Analytical Data of Re-Os Isotope for Standard Sample Molybdenites of Huanglongpu and Jinduicheng

样品编号	$w(\text{Re})/10^{-6}$	$w(^{187}\text{Os})/10^{-9}$	模式年龄/Ma
GBW04435	$283.80 \pm 6.20$	$659.00 \pm 14.00$	$221.4 \pm 5.6$
GBW04436	$17.39 \pm 0.32$	$25.46 \pm 0.60$	$139.6 \pm 3.8$

注:  $w(\cdot)$  为元素含量。

## 3.2 测定结果

由表 3 可以看出,3 件辉钼矿样品获得近似的模式年龄为  $(206.7 \pm 2.8) \sim (214.7 \pm 2.8)$  Ma。采用 Isoplot 软件对获得的 4 个数据进行等时线计

算<sup>[22]</sup>,得到等时线年龄为  $(212.4 \pm 2.8)$  Ma,平均标准权重偏差(MSWD)为 2.6,样品数为 4 个;根据等时线得到初始  $^{187}\text{Os}$  含量为  $(-6.77 \pm 0.49) \times 10^{-9}$  (图 5)。样品 Mo-9-1、Mo-10、Mo-11 的 Re-Os 模式年龄值非常相似。Mo-9-2 由于采样量少,可能不具有代表性,如果样品与测试都没有问题,西沟地区可能还存在燕山期叠加成矿。这 4 件样品等时线年龄为  $(212.4 \pm 2.8)$  Ma,可能代表西沟钼矿床的主成矿期年龄。

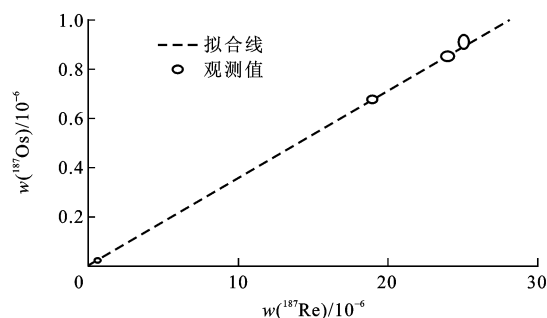


图 5 西沟钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素等时线

Fig. 5 Re-Os Isochron of Molybdenites from Xigou Mo Deposit

## 4 讨论

## 4.1 成矿物质来源

Re-Os 同位素体系可有效示踪成矿物质来源。毛景文等认为钼矿床中辉钼矿的 Re 从地幔到壳幔混源再到地壳源,矿石中的 Re 含量呈 10 倍地下降<sup>[23]</sup>,从幔源  $\rightarrow$  I 型  $\rightarrow$  S 型花岗岩有关的矿床,Re 含量从  $n \times 10^{-4} \rightarrow n \times 10^{-5} \rightarrow n \times 10^{-6}$ 。西沟钼矿床 Re 含量为  $(306.6 \sim 401.0) \times 10^{-6}$ ,高于本批次标准物质金堆城测定的  $17.56 \times 10^{-6}$ ,接近黄龙铺测定的  $282.8 \times 10^{-6}$ ,暗示西沟钼矿床成矿物质来源与黄龙铺相同,主要来源于上地幔。

## 4.2 成矿类型

西沟钼矿体(带)主要产于韧-脆性剪切构造带中,矿石主要由(钽天青石和方解石)长石石英脉、黑云斜长片麻岩围岩夹层及含矿脉旁侧蚀变片麻岩组成,无脉一般无矿化现象。含矿脉体一般呈尖灭再现及尖灭侧现的形式出现在构造带,但局部出现交错形成网脉,围岩为“太华杂岩”黑云母斜长片麻岩。

西沟钼矿床的成矿年龄为  $(212.4 \pm 2.8)$  Ma,区域上黄龙铺大型钼矿床成矿年龄为  $(216 \pm 2)$  Ma (Re-Os 法)<sup>[24]</sup>和  $(221.5 \pm 0.3)$  Ma (Re-Os 法)<sup>[25]</sup>,大湖钼矿床成矿年龄为  $(223.0 \pm 2.8)$  Ma (Re-Os

表 3 西沟钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素分析数据

Tab. 3 Re-Os Isotope Data for Molybdenite from Xigou Mo Deposit

原样品名称	采样位置	样品质量/g	$w(\text{Re})/10^{-6}$	$w(\text{Os})_1/10^{-6}$	$w(^{187}\text{Re})/10^{-6}$	$w(^{187}\text{Os})/10^{-9}$	模式年龄/Ma
Mo-9-1	PD1	0.005 10	$385.500\pm3.800$	$0.009\ 3\pm0.293\ 6$	$242.300\pm2.400$	$848.50\pm6.50$	$209.8\pm3.1$
Mo-9-2	PD1	0.020 35	$9.470\pm0.073$	$0.017\ 7\pm0.010\ 4$	$5.953\pm0.046$	$14.33\pm0.12$	$144.4\pm2.0$
Mo-10	PD3	0.005 28	$401.000\pm3.000$	$0.004\ 8\pm0.142\ 8$	$252.000\pm1.900$	$902.70\pm6.80$	$214.6\pm2.8$
Mo-11	TC0	0.005 11	$306.600\pm2.600$	$0.004\ 9\pm0.147\ 5$	$192.700\pm1.600$	$664.70\pm5.10$	$206.7\pm2.8$

注:数据由国家地质实验测试中心采用 TJA X-series ICP-MS 进行测试;模式年龄  $t$  计算式为  $t=\ln(1+w(^{187}\text{Os})/w(^{187}\text{Re}))/\lambda$ ,  $\lambda$  为  $^{187}\text{Re}$  衰变常数(每年  $1.666\times10^{-11}$ )。

法)<sup>[11]</sup>,成矿年龄基本一致,属印支晚期成矿,对应的地球动力学背景为华北板块和扬子板块碰撞造山后的陆内造山和伸展过程。西沟钼矿床与黄龙铺(大石沟)在地质与成矿年代学上都相似(表 4),由此确定矿床类型为长石-石英脉型、碳酸盐脉型矿床,成矿方式以热液充填和交代作用为主。

表 4 西沟与黄龙铺钼矿床特征对比

Tab. 4 Comparisons of Characteristics Between Xigou and Huanglongpu Mo Deposits

矿床名称	西沟	黄龙铺
成矿时代	$(212.4\pm2.8)\text{Ma}$	$(216\pm2)$ 、 $(221.5\pm0.3)\text{Ma}$
矿床规模	中型钼(铅)多金属矿	大型钼(铀)矿
赋矿围岩及时代	太古宇太华群黑云斜长片麻岩	中元古界熊耳群安山岩及高山河组碎屑岩
控矿构造	主要受走向近 EW、倾向北的韧性剪切带及断层控制	主要受走向 NE、倾向 SE 的一组张性断裂构造控制
围岩蚀变	硅化、钾化、绿帘石化及微弱的云英岩化,次生蚀变在地表常形成褐铁矿化、黄钾铁矾化及铁锰碳酸盐岩	黑云母化、绿帘石化、黄铁矿化、碳酸盐化、硬石膏化和沸石化
矿体形态	脉状	脉状
矿体规模	一般长大于 1 000 m,宽数米至十余米,倾向已控制延伸 100~500 m。	一般长数百米至 1 000 m,宽数米至 150 m,倾向已控制延伸 100~700 m。
矿石类型	主要为石英脉型、长石-石英脉型、方解石-石英脉型及蚀变岩型	石英脉、碳酸岩-天青石脉型
矿石矿物组合	主要为黄铁矿、辉钼矿,其次为方铅矿、磁铁矿,还有少量黄铜矿等	矿石矿物主要有黄铁矿、方铅矿和辉钼矿
矿床类型	长石-石英脉型、碳酸盐脉型	长石-石英脉型、碳酸盐脉型
成矿物质来源	幔源	幔源
资料来源	西北有色地质勘查局 712 总队	陕西地质矿产勘查局第 13 地质队

4.3 找矿潜力分析

从区域成矿带来看,东秦岭地区金属矿床按其成矿温度显示出带状分布规律。钼矿带位于金堆城—栾川钼钨高中温成矿带,北侧为华山—鲁山铅锌、金、稀土中温成矿带,南侧为莽岭—伏牛山铁—铅锌铜中温成矿带,构成一个区域性的成矿作用热背斜。矿床类型的水平分带性明显,中心部位向两侧由斑岩、矽卡岩—斑岩型钼矿转为以铅锌铜多金属矿床为主<sup>[26]</sup>,西沟钼矿床位于金堆城以北,有向多金属成矿偏移的趋势。

从矿化蚀变特征来看,矿化与矿脉密切相关,脉密集,钼矿化强,无脉则无矿化,矿化为线性蚀变,并无明显的面型蚀变特征;从化探异常特征来看,异常形态大多以点异常构成带状异常,异常元素以 Pb、Mo 元素组合异常为主;与区域上黄龙铺和金堆城 2

个钼矿床相比,西沟钼矿床成矿年龄及同位素地球化学示踪成矿物质来源均与黄龙铺脉型矿接近,为印支晚期成矿,矿床特征与区域上黄龙铺(大石沟)钼矿床有一定可比性。区内南、北 2 区已圈出多条矿化带及钼矿体,矿带边部异常仍没有完全控制,而且矿体向深部也只是进行了浅地表控制。根据韧性剪切带一般的表现特征,矿体向深部仍应有较大延伸,并且根据小秦岭地区大岩基旁侧多发育小岩体的特点以及斑岩型钼矿的成矿模式,推测矿区深部也有可能存在隐伏岩体,从而形成斑岩型钼矿床。因此,通过进一步工作,该区具有寻找到大型钼矿床的潜力。

5 结 语

(1)东秦岭华县西沟钼矿床赋存于太古宇太华群片岩中,为长石-石英脉、碳酸盐脉型钼矿床,与雷

门沟斑岩型钼矿赋存于同一地层中,但其辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为  $(212.4 \pm 2.8) \text{Ma}$ , 又与黄龙铺钼矿床形成时代基本一致,均为印支晚期形成,因此,其在矿床成因方面具有独特性。

(2)西沟钼矿床中辉钼矿 Re 含量为  $(306.6 \sim 401.0) \times 10^{-6}$ , 暗示成矿物质主要来源于上地幔,矿床的成矿特征及成矿时代与黄龙铺大型钼矿床非常相似。矿床类型属于长石-石英脉型、碳酸盐脉型;区内构造极为发育,含矿脉体密集分布。依据区内构造特征、化探异常及初步勘探结果,认为研究区内向深部及周边尚有较大的找矿潜力,并有可能在深部形成与隐伏岩体有关的斑岩型钼矿床。

#### 参考文献:

#### References:

- [1] 李金宝,王晓霞,童英,等.东秦岭中生代花岗岩体、钼矿床分布的时空规律及其动力来源[J].地球科学与环境学报,2013,35(4):49-61.  
LI Jin-bao, WANG Xiao-xia, TONG Ying, et al. Spatio-temporal Distributions of Mesozoic Granite Plutons and Molybdenum Deposits in East Qinling and Their Dynamic Implication[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2013, 35(4): 49-61.
- [2] 朱广彬,刘国范,姚新年,等.东秦岭铅锌银金钼多金属成矿带成矿规律及找矿标志[J].地球科学与环境学报,2005,27(1):44-52.  
ZHU Guang-bin, LIU Guo-fan, YAO Xin-nian, et al. Metallogeny and Mineral Resource Prospecting in the Pb-Zn-Ag-Au-Mo Polymetallic Ore Belt of Eastern Qinling[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2005, 27(1): 44-52.
- [3] 焦建刚,袁海潮,刘瑞平,等.陕西华县八里坡钼矿床岩石地球化学特征及找矿意义[J].岩石学报,2010,26(12):3538-3548.  
JIAO Jian-gang, YUAN Hai-chao, LIU Rui-ping, et al. Lithogeochemical Characteristics of Balipo Molybdenum Deposit and Its Prospecting Significance, Huaxian, Shaanxi Province[J]. Acta Petrologica Sinica, 2010, 26(12): 3538-3548.
- [4] 焦建刚,汤中立,钱壮志,等.东秦岭金堆城花岗斑岩体的锆石 U-Pb 年龄、物质来源及成矿机制[J].地球科学,2010,35(6):1011-1022.  
JIAO Jian-gang, TANG Zhong-li, QIAN Zhuang-zhi, et al. Metallogenic Mechanism, Magma Source and Zircon U-Pb Age of Jinduicheng Granitic Porphyry, East Qinling[J]. Earth Science, 2010, 35(6): 1011-1022.
- [5] 焦建刚,袁海潮,何克,等.陕西华县八里坡钼矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J].地质学报,2009,83(8):1159-1166.  
JIAO Jian-gang, YUAN Hai-chao, HE Ke, et al. Zircon U-Pb and Molybdenite Re-Os Dating for the Balipo Porphyry Mo Deposit in East Qinling, China, and Its Geological Implication[J]. Acta Geologica Sinica, 2009, 83(8): 1159-1166.
- [6] 张娟,叶会寿,史美超,等.东秦岭鱼池岭斑岩型钼矿床成矿作用过程——来自成矿流体的约束[J].地质通报,2013,32(7):1113-1128.  
ZHANG Juan, YE Hui-shou, SHI Mei-chao, et al. Metallogenic Process of the Yuchiling Mo Deposit in East Qinling—Constraints from Fluid Inclusions[J]. Geological Bulletin of China, 2013, 32(7): 1113-1128.
- [7] 秦臻,戴雪灵,邓湘伟,等.东秦岭秋树湾铜钼矿流体包裹体和稳定同位素特征及其地质意义[J].矿床地质,2012,31(2):323-336.  
QIN Zhen, DAI Xue-ling, DENG Xiang-wei, et al. Fluid Inclusions and Stable Isotopes of Qiushuwan Copper-molybdenum Deposit in East Qinling Orogenic Belt and Their Geological Implications[J]. Mineral Deposits, 2012, 31(2): 323-336.
- [8] 徐刚,汤中立,焦建刚,等.金堆城与沙坪沟小岩体斑岩钼矿床对比研究[J].西北地质,2012,45(4):357-369.  
XU Gang, TANG Zhong-li, JIAO Jian-gang, et al. The Comparative Study on Small Intrusion Type Molybdenum Deposits of Shapinggou and Jinduicheng[J]. Northwestern Geology, 2012, 45(4): 357-369.
- [9] 叶会寿,毛景文,李永峰,等.豫西南泥湖矿田钼钨及铅锌银矿床地质特征及其成矿机理探讨[J].现代地质,2006,20(1):165-174.  
YE Hui-shou, MAO Jing-wen, LI Yong-feng, et al. Characteristics and Metallogenic Mechanism of Mo-W and Pb-Zn-Ag Deposits in Nannihu Ore Field, Western Henan Province[J]. Geoscience, 2006, 20(1): 165-174.
- [10] 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.  
LI Yong-feng, MAO Jing-wen, LIU Dun-yi, et al. SHRIMP Zircon U-Pb and Molybdenite Re-Os Datings for the Leimengou Porphyry Molybdenum Deposit, Western Henan and Its Geological Implication[J]. Geological Review, 2006, 52(1): 122-131.
- [11] 李厚民,叶会寿,毛景文,等.小秦岭金(钼)矿床辉钼矿铼-钨定年及其地质意义[J].矿床地质,2007,26

- (4):417-424.
- LI Hou-min, YE Hui-shou, MAO Jing-wen, et al. Re-Os Dating of Molybdenites from Au(-Mo) Deposits in Xiaolinling Gold Ore District and Its Geological Significance[J]. *Mineral Deposits*, 2007, 26(4):417-424.
- [12] 焦建刚, 钱壮志, 王勇茗, 等. 华县西沟地区花岗岩体地球化学及成矿潜力[J]. *地质找矿论丛*, 2007, 22(4):270-276.
- JIAO Jian-gang, QIAN Zhuang-zhi, WANG Yong-ming, et al. Geochemistry and Metallogenic Potentiality of Granite in Xigou Area, Huaxian, Shaanxi Province[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2007, 22(4):270-276.
- [13] 焦建刚, 韩俊民, 钱壮志, 等. 华县西沟地区钼矿地质与成矿潜力[J]. *地球科学与环境学报*, 2007, 29(3):245-251.
- JIAO Jian-gang, HAN Jun-min, QIAN Zhuang-zhi, et al. Geology and Metallogenic Potentiality of Molybdenum Mine in Xigou Area, Huaxian County, Shaanxi Province[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 2007, 29(3):245-251.
- [14] 陆 岩. 洛南地区东秦岭北坡变质岩系的时代问题[J]. *西北地质*, 1985(4):24-30.
- LU Yan. Ages of Metamorphic Rocks in the Northern Slope of East Qinling, Luonan Region[J]. *Northwestern Geology*, 1985(4):24-30.
- [15] 韩吟文, 马振东. 地球化学[M]. 北京:地质出版社, 2003.
- HAN Yin-wen, MA Zhen-dong. *Geochemistry* [M]. Beijing:Geological Publishing House, 2003.
- [16] STEIN H, SCHERSTEN A, HANNAH J, et al. Subgrain-scale Decoupling of Re and  $^{187}\text{Os}$  Assessment of Laser Ablation ICP-MS Spot Dating in Molybdenite[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2003, 67(19):3673-3686.
- [17] SELBY D, CREASER R A. 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[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2004, 68(19):3897-3908.
- [18] SHIREY S B, WALKER R J. Carius Tube Digestion for Low-blank Rhenium-osmium Analysis[J]. *Analytical Chemistry*, 1995, 67(13):2136-2141.
- [19] DU A D, WU S Q, SUN D Z, et al. Preparation and Certification of Re-Os Dating Reference Materials: Molybdenites HLP and JDC[J]. *Geostandard and Geoanalytical Research*, 2004, 28(1):41-52.
- [20] WIESER M E. Atomic Weights of the Elements 2005 (IUPAC Technical Report) [J]. *Pure and Applied Chemistry*, 2006, 78(11):2051-2066.
- [21] BOHLKE J K, DE LAETER J R, DE BIEVRE P, et al. Isotopic Compositions of the Elements, 2001[J]. *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 2005, 34(1):57-68.
- [22] LUDWIG K R. Isoplot/Ex, Version 3.0: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[R]. Berkeley: Berkeley Geochronology Center, 2001.
- [23] MAO J W, ZHANG Z C, ZHANG Z H, et al. 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):1815-1818.
- [24] 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(7/8):827-835.
- [25] DU A D, SUN Y L, ZOU X Q, et al. Study on Rhenium-osmium Isotope System by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry and Its Application to Copper-nickel Sulfide and Molybdenite Dating[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 1996, 15(4):263-267.
- [26] 张正伟, 朱炳泉, 常向阳, 等. 东秦岭钼矿带成岩成矿背景及时空统一性[J]. *高校地质学报*, 2001, 7(3):307-315.
- ZHANG Zheng-wei, ZHU Bing-quan, CHANG Xiang-yang, et al. Petrogenetic-metallogenetic Background and Time-space Relationship of the East Qinling Molybdenum Ore Belt, China[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2001, 7(3):307-315.