

河南大湖金钼矿床成矿物质来源的锶钨铅同位素约束*

倪智勇^{1,2} 李诺¹ 张辉^{2**} 薛良伟³

NI ZhiYong^{1,2}, LI Nuo¹, ZHANG Hui^{2**} and XUE LiangWei³

1. 北京大学造山带与地壳演化重点实验室, 北京 100871
2. 中国科学院地球化学研究所 地球深部物质与流体作用地球化学研究室, 贵阳 550002
3. 河南省国土资源科学研究所, 郑州 450053

1. Key Laboratory of Orogen and Crust Evolution, Peking University, Beijing 100871, China

2. Laboratory for Study of the Earth's Interior and Geofluids, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China

3. Academy of Land and Resources of Henan Province, Zhengzhou 450053, China

2009-09-21 收稿, 2009-10-13 改回.

Ni ZY, Li N, Zhang H and Xue LW. 2009. Pb-Sr-Nd isotope constraints on the source of ore-forming elements of the Dahu Au-Mo deposit, Henan province. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11):2823-2832

Abstract The Dahu Au-Mo deposit, Lingbao County, Henan Province is a typical fault-controlled lode deposit occurring in the northern Xiaoqinling gold field. The fluid inclusions and mineralization age have been well documented, but the ore-forming metal source has not been discussed in previous studies. This paper reports analytical results of Sr-Nd-Pb isotope systematics for 16 sulfide samples (7 pyrite, 4 molybdenite, 3 galena and 2 chalcopyrite) and 5 ore-hosting rocks of Taihua Supergroup gneisses. The sulfides yield I_{Sr} of 0.70470 ~ 0.71312, with a mean value of 0.70854, $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$ of 0.51143 ~ 0.51215 (average 0.51162), and $(^{206}Pb/^{204}Pb)_i$, $(^{207}Pb/^{204}Pb)_i$ and $(^{208}Pb/^{204}Pb)_i$ of 17.033 ~ 17.285, 15.358 ~ 15.438 and 37.307 ~ 37.582, with a mean value of 17.162, 15.405 and 37.440, respectively. Whilst the gneisses of Taihua Supergroup yield I_{Sr} of 0.70947 ~ 0.73201 with an average of 0.72294, $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$ of 0.51076 ~ 0.51133 with an average of 0.51107, $(^{206}Pb/^{204}Pb)_i$ of 17.127 ~ 18.392, averaging 17.547, $(^{207}Pb/^{204}Pb)_i$ of 15.416 ~ 15.604, averaging 15.470 and $(^{208}Pb/^{204}Pb)_i$ of 37.498 ~ 37.814, averaging 37.616, respectively. The Sr-Nd-Pb isotope systematics shows a source of mixing crust and mantle. Therefore, it is concluded that the ore-forming materials or fluids originated initially from a residual depleted ocean crust, which had subducted and accumulated beneath the interested area, and then mixed the Taihua Supergroup during fluid-rock interaction; and that time the continental collision between Yangtze and North China were not ended yet, instead, it just widely began at about 218 Ma.

Key words Sr-Nd-Pb isotope systematics; Ore-forming element source; Dahu Au-Mo deposit; Xiaoqinling gold field; A-type subduction

摘要 河南灵宝大湖金钼矿床位于小秦岭金矿田北缘,属典型的断控脉状矿床。前人较好研究了矿床流体包裹体和成矿年代,但对成矿物质来源研究薄弱。本文对16件矿石硫化物及5件赋矿围岩样品进行了Sr-Nd-Pb同位素分析,金属硫化物 $I_{Sr} = 0.70470 \sim 0.71312$, 平均 0.70854; $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i = 0.51143 \sim 0.51215$, 平均 0.51162; $(^{206}Pb/^{204}Pb)_i = 17.033 \sim 17.285$, $(^{207}Pb/^{204}Pb)_i = 15.358 \sim 15.438$, $(^{208}Pb/^{204}Pb)_i = 37.307 \sim 37.582$, 平均值分别是 17.162, 15.405, 37.440。5件太华超群样品 $I_{Sr} = 0.70947 \sim 0.73201$, 平均 0.72294; $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i = 0.51076 \sim 0.51133$, 平均 0.51107; $(^{206}Pb/^{204}Pb)_i = 17.127 \sim 18.392$, $(^{207}Pb/^{204}Pb)_i = 15.416 \sim 15.604$, $(^{208}Pb/^{204}Pb)_i = 37.498 \sim 37.814$, 平均值分别是 17.547, 15.470, 37.616。Sr-Nd-Pb同位素特征表明成矿物质来源具壳幔混合特征,初始成矿流体可能来源于亏损的残余洋壳,并通过成矿过程的水岩相互作用与太华超群混合;据此认为,在218Ma年左右,秦岭地区的陆陆碰撞造山作用并没有结束,而仍在进行之中。

关键词 Sr-Nd-Pb同位素;成矿物质来源;大湖金钼矿床;小秦岭金矿田;A型俯冲

中图法分类号 P597.3; P618.51; P618.65

* 国家“973”计划项目(2006CB403500)、国家自然科学基金项目(编号40730421,40425006)和中国科学院百人计划项目的资助。

第一作者简介:倪智勇,男,1982年生,博士研究生,矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: nzycom@sina.com

** 通讯作者:张辉, E-mail: zhanghui65@hotmail.com

东秦岭是世界最大的钼矿带 (Chen *et al.*, 2000; 李诺等, 2007), 也是我国著名的金、银、铅锌成矿省 (陈衍景和富士谷, 1992; 陈衍景, 2006; 祁进平等, 2007; 姚军明等, 2008; 蒋少涌等, 2009), 但大部分矿床形成于燕山期的 160 ~ 110Ma 之间, 即侏罗纪-白垩纪之交或晚侏罗世-早白垩世, 少数矿床形成于三叠纪或印支期 (李诺等, 2007) 以及古元古代 1700 ~ 1900Ma (邓小华等, 2008; 魏庆国等, 2009; 陈衍景等, 2009)。大湖金钼矿床是形成于印支期的典型矿床之一, 是认识秦岭印支期成矿规律的一个窗口。

大湖金钼矿床曾是小秦岭金矿田的 5 个大型金矿之一 (Chen *et al.*, 1998), 小秦岭是我国第二大金产地, 也是共识的造山型金矿田 (Kerrich *et al.*, 2000; Li *et al.*, 2002; Mao *et al.*, 2002; 祁进平等, 2002, 2006; 蒋少涌等, 2009)。大湖矿床黄金储量 28 吨, 平均品位 8.7g/t, 产于小秦岭金矿田北缘的近东西向韧性剪切带中, 曾被共识为断裂控制的中温脉状金矿或造山型金矿 (Mao *et al.*, 2002; 李晓波和刘继顺, 2003; 陈莉, 2006); 随着采矿深度加大, 部分含金石英脉在深部转变为辉钼矿-石英脉, 在海拔 500m 以下还发现了多条独立的辉钼矿-石英脉, 目前探获钼资源量已达中型规模 (陈莉, 2006)。前人研究表明, 大湖金钼矿床属于造山型 (陈衍景, 2006; 倪智勇等, 2008), 成矿流体主要为变质成因的低盐度富 CO₂ 热液, 矿床形成于 218Ma 左右 (李诺等, 2008)。然而, 关于成矿流体和成矿物质的来源, 尚缺乏深入研究。因此, 本文通过矿床金属硫化物及赋矿围岩 (太华超群) 的 Sr、Nd 和 Pb 同位素地球化学研究, 探讨大湖金-钼矿床的成矿物质来源, 进一步揭示矿床成因和成矿机制。

1 地质背景

1.1 区域构造及演化

小秦岭金矿田呈东西向带状展布, 北界为三宝断裂 (即太要断裂), 南界为小河断裂 (图 1), 是秦岭造山带最北缘的华熊地块刚性基底推覆体的重要组成部分。华熊地块经历了如下构造演化阶段 (Chen *et al.*, 2004): (1) 1850Ma 前, 华北克拉通基底形成, 发育太华超群中深变质岩系 (Zhao *et al.*, 2002; 陈衍景和富士谷, 1992), 构成小秦岭矿田的主要赋矿岩石。(2) 1850 ~ 1400Ma 期间, 古宽坪洋沿栾川断裂向北俯冲, 华熊地块发育 1850 ~ 1400Ma 的熊耳群岩浆弧安山岩建造 (贾承造, 1988; 胡受奚等, 1988; 陈衍景等, 1992), 熊耳群在小秦岭地体南侧广泛发育。(3) 1400 ~ 400Ma 期间, 华北古板块南缘发育沟弧盆体系, 华熊地块南缘依次沉积中元古代官道口群、新元古代栾川群/陶湾群、震旦系和早古生代地层, 北缘发育汝阳群、洛峪群、震旦系和寒武系地层。(4) 400Ma 左右二郎坪盆地闭合之后, 华熊地块隆升剥蚀, 缺失 400 ~ 250Ma 期间的地层, 华熊地块以北广泛发育 C₂-T 含煤建造。(5) 250 ~ 220Ma, 秦岭地区古洋盆 (包括商丹洋、勉略洋等有限洋盆) 自东而西先后闭合, 直至三叠纪末 (230 ~ 220Ma 左右) 彻底闭合, 使秦岭微板块与扬子板块、华北板块全面对接和碰撞, 造山带岩石圈断裂破裂、拆离、推覆、堆叠, 表现为一系列不同尺度、样式和深度的 A 型俯冲 (陈衍景, 1996), 华熊地块内部的马超营断裂演变为倾向北的陆内俯冲带。(6) 包括华熊地块的秦岭造山带构造环境从 T₃-J₁ 的强烈挤压, 经 J₂-K₁ 的挤压向伸展转变, 演化为 K₂ 的伸展、垮塌和裂解。中生代期间, 小秦岭总体经历了

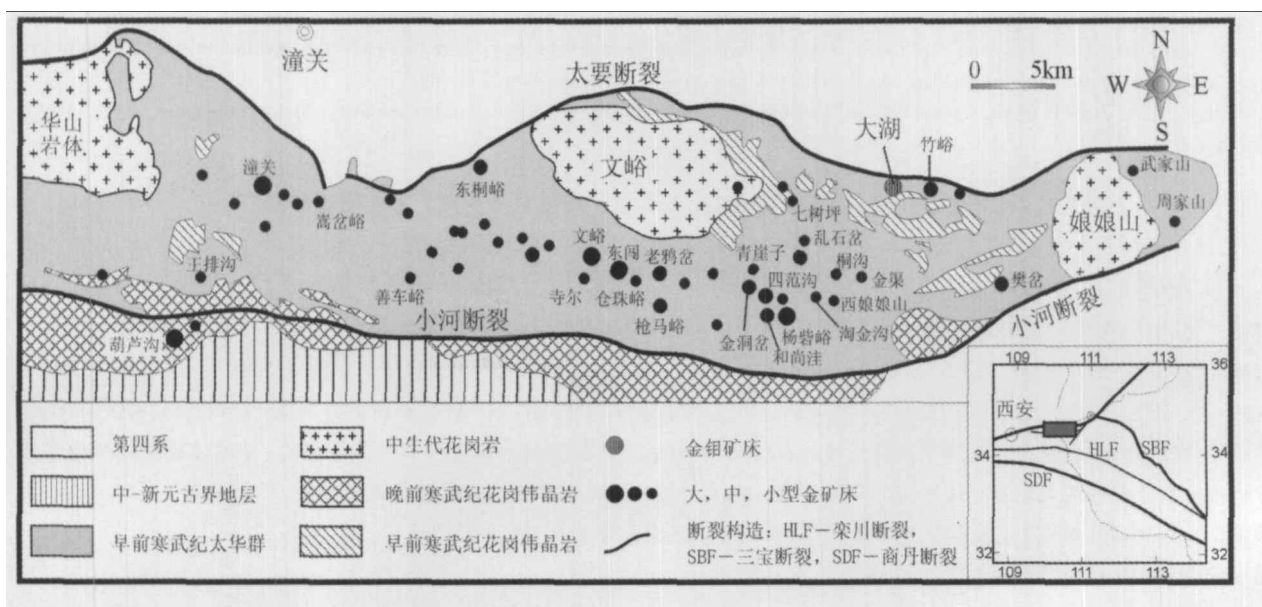


图 1 小秦岭金矿田地质及矿床分布图 (据陈衍景, 2006 修改)

Fig. 1 Geological map showing the distribution of gold deposits in the Xiaqingling gold field (modified after Chen, 2006)

先挤压后伸展垮塌的过程,并发生了两期不同性质的大规模伸展,第一期为沿周缘拆离断层发育的方向与造山带平行的同造山伸展,活动时代为 135 ~ 125 Ma,属地壳增厚和岩浆活动共同作用的结果;第二期为退化变质糜棱岩带和正断层组成的变质核杂岩内部伸展构造,系挤压造山后由岩浆穹隆作用诱发的拆离、滑塌,时间为 120 ~ 106 Ma (张进江等,1998,2003)。此后,秦岭和华熊地块进入陆内构造演化时期。

1.2 矿区地质

大湖矿区(图2)出露地层主要为早前寒武纪太华超群间家峪组中上部的一套混合片麻岩、黑云斜长片麻岩、条带状混合岩、斜长角闪片麻岩、斜长角闪岩组合,区域变质、混合岩化作用强烈。矿区岩浆活动频繁,主要发育有太古宙混合花岗岩、燕山期辉绿岩、中生代花岗斑岩等基性-酸性侵入岩。主要控矿构造为一组近东西向展布、向北缓倾的韧性剪切带及断层,自北向南依次为 F1、F8、F7、F35、F5、F6,总体近平行排列,偶有交汇复合,具多期活动、由压性经压扭性向张扭性断裂转化的特点。其中 F5 是矿区主要的控矿构造,控制着多数含金石英脉和金矿体的产出(何春芬,2003;陈莉,2006)。石英脉型钼矿体一般产于石英脉型金矿体的边部,受同一构造带控制,矿体厚度 10 ~ 100 cm,局部膨大或狭缩,整体延伸比较稳定。F35 韧性剪切带控制 S35 石英-辉钼矿脉的产出,该带长 900 m 左右,地表宽度 10 ~ 50 m,走向

NNE,倾向 NNW。S35 为规模较大的辉钼矿-石英脉,厚 10 ~ 20 m,金矿化弱,钼品位 0.15 ~ 0.25%,与 F5 为不同期次的产物(陈莉,2006)。矿石中钼矿物主要为辉钼矿,据其产状不同可分为两种:一是呈自形-半自形粒状、团块状和放射状集合体分布于乳白色纯净的块状石英脉中,二是呈粉末状、浸染状、薄膜状分布于破碎的石英脉裂隙中。其他金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、方铅矿,次为闪锌矿、磁黄铁矿、斑铜矿、铜蓝等。脉石矿物主要有石英、钾长石、斜长石、方解石、绢云母、绿泥石等。

2 样品及分析方法

研究样品为 S35 石英脉及 F7 构造带石英脉中的金属硫化物(7 件黄铁矿,4 件辉钼矿,3 件方铅矿,2 件黄铜矿)和矿区出露的 5 件太华超群片麻岩。Sr-Nd-Pb 同位素分析均在核工业北京地质研究院分析测试研究中心完成。Pb 同位素分析流程如下:①称取适量样品放入聚四氟乙烯坩埚中,加入氢氟酸中,高氯酸溶样。样品分解后将其蒸干,再加入盐酸溶解蒸干,加入 0.5 N HBr 溶液溶解样品进行铅的分离;②将溶解的样品倒入预先处理好的强碱性阴离子交换树脂中进行铅的分离,用 0.5 N HBr 溶液淋洗树脂,再用 2 N HCl 溶液淋洗树脂,最后用 6 N HCl 溶液解脱,将解脱溶液蒸干备质谱测定。分离纯化好的铅样品上机进行铅同位素比值测量。用热表面电离质谱法进行铅同位素测量,仪器型号为

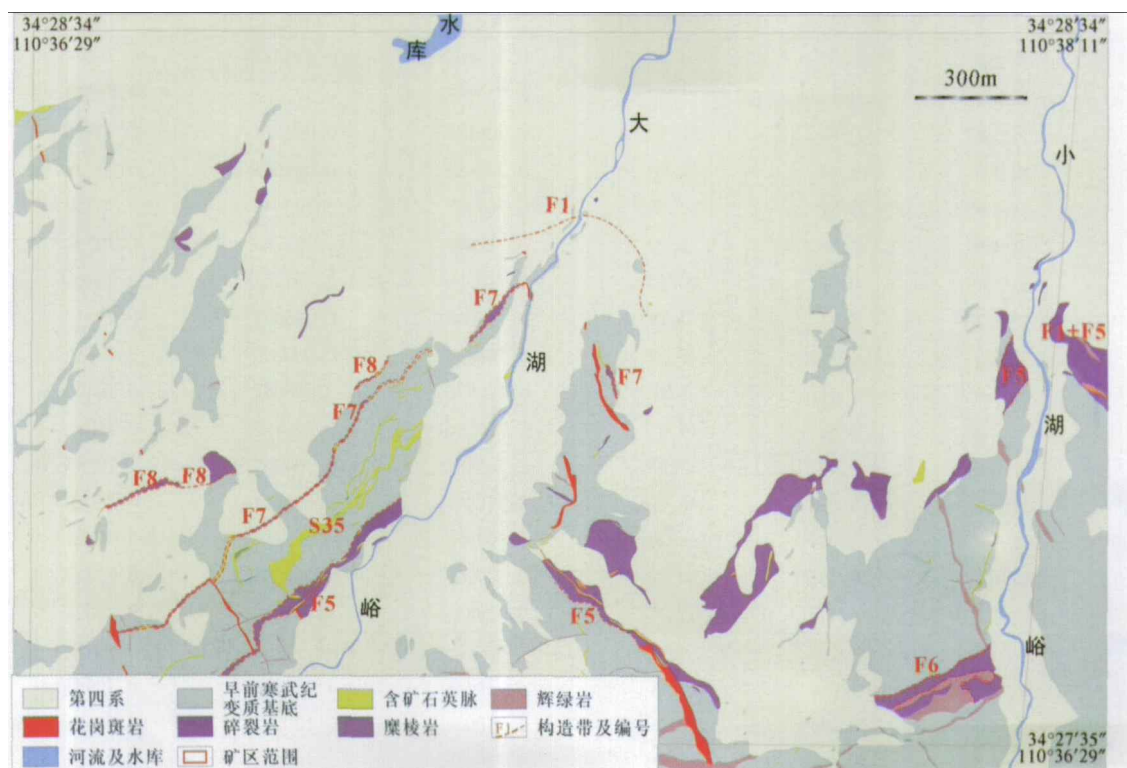


图2 大湖金钼矿床地质构造示意图(据金源公司提供资料改绘)

Fig. 2 Simplified geological tectonic map of the Dahu Au-Mo deposit (modified after Jinyuan Company)

ISOPROBE-T。1 μ g 铅的 $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 测量精度 $\leq 0.005\%$ ，NBS981 标准值 (2σ): $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 2.1681 \pm 0.0008$ ， $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.91464 \pm 0.00033$ ， $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 0.059042 \pm 0.000037$ 。Sm-Nd 同位素分析流程如下: ①准确称取 0.1 ~ 0.2g 粉末样品于低压密闭溶样罐中, 准确加入钐铈稀释剂, 用混合酸(HF + HNO₃ + HClO₄) 溶解 24 小时。②待样品完全溶解后, 蒸干, 加入 6mol/L 的盐酸转为氯化物蒸干。用 0.5mol/L 的盐酸溶液溶解, 离心分离, 清液装入阳离子交换柱($\phi 0.5\text{cm} \times 15\text{cm}$, AG50W $\times 8(\text{H}^+)$ 100 - 200 目), 用 1.75mol/L 的盐酸溶液和 2.5mol/L 的盐酸溶液淋洗基体元素和其他元素, 用 4mol/L 的盐酸溶液淋洗轻稀土元素。蒸干。钐铈用 P507 萃淋树脂分离, 蒸干后转为硝酸盐, 以备质谱分析。同位素分析采用 ISOPROBE-T 热电离质谱计, 三带, M+, 可调多法拉第接收器接收。质量分馏用 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$ 校正, 标准测量结果: SHINESTU 为 0.512118 ± 3 (标准值为 0.512110)。Rb-Sr 同位素分析流程如下: ①准确称取 0.1 ~ 0.2g 粉末样品于低压密闭溶样罐中, 准确加入铷铈稀释剂, 用混合酸(HF + HNO₃ + HClO₄) 溶解 24 小时。②待样品完全溶解后, 蒸干, 加入 6mol/L 的盐酸转为氯化物蒸干。用 0.5mol/L 的盐酸溶液溶解, 离心分离, 清液装入阳离子交换柱($\phi 0.5\text{cm} \times 15\text{cm}$, AG50W $\times 8(\text{H}^+)$ 100 - 200 目),

用 1.75mol/L 的盐酸溶液淋洗铷, 用 2.5mol/L 的盐酸溶液淋洗铈。蒸干, 以备质谱分析。同位素分析采用 ISOPROBE-T 热电离质谱计, 单带, M+, 可调多法拉第接收器接收。质量分馏用 $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr} = 0.1194$ 校正, 标准测量结果: NBS987 为 0.710250 ± 7 。

3 Sr-Nd-Pb 同位素地球化学特征

分析结果见表 1、表 2、表 3。表 1 中的 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 和表 2 中的 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 根据实测的样品元素含量和同位素比值计算所得, 成矿年龄采用辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄 218Ma (李诺等, 2008)。将测得的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 和 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位素比值换算回 218Ma 时的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值 (I_{Sr}) 和 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值。计算过程中, 球粒陨石 (CHUR) Nd 同位素参数采用 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.512638$, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0.1967$ (Jacobsen and Wasserburg, 1980)。对于 ($^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)_i、($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)_i 和 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)_i, 首先根据样品 U、Th、Pb 含量和实测 ($^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)、($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)、($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$) 值计算出样品的 $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{235}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$ 比值, 然后扣除样品在 218Ma 以来积累的放射性成因铅, 得到 218Ma 时的铅同位素比值。

表 1 大湖金钼矿床金属硫化物及太华群 Sr 同位素组成

Table 1 The Sr isotope ratios of sulfides and Taihua Group from the Dahu Au-Mo deposit

样品号	样品名	Rb ($\times 10^{-6}$)	Sr ($\times 10^{-6}$)	$\frac{^{87}\text{Rb}}{^{86}\text{Sr}}$	$\frac{^{87}\text{Sr}}{^{86}\text{Sr}}$	I_{Sr}
7-002-2	黄铜矿	0.37	4.82	0.713662	0.222233	0.71297
7-005-3	黄铜矿	0.17	1.33	0.713904	0.372228	0.71275
DH-3	黄铁矿	0.40	12.50	0.706199	0.092111	0.70591
DH-07-1	黄铁矿	0.44	12.80	0.707688	0.099685	0.70738
DH-07	黄铁矿	0.51	10.40	0.707943	0.142445	0.70750
DH-04	黄铁矿	0.56	1.22	0.712082	1.335784	0.70794
7-005-1	黄铁矿	0.34	0.43	0.713779	2.297252	0.70666
7-002-1	黄铁矿	0.31	3.15	0.714003	0.285837	0.71312
35-010-1	黄铁矿	0.30	9.57	0.706434	0.090690	0.70615
DH-4	方铅矿	1.07	1.16	0.712976	2.670247	0.70470
DH-08-20	方铅矿	0.52	4.01	0.711336	0.371722	0.71018
35-010-2	方铅矿	0.32	3.06	0.707481	0.304457	0.70654
DH-08-04	辉钼矿	6.05	156.00	0.710481	0.112241	0.71013
DH-08-21	辉钼矿	2.03	28.20	0.707858	0.208284	0.70721
DH-08-22	辉钼矿	0.49	120.00	0.707269	0.011862	0.70723
DH-08-23	辉钼矿	2.11	32.70	0.710827	0.186754	0.71025
平均						0.70854
DH-08-08	太华群	107.00	226.00	0.716458	1.371036	0.70947
DH-08-12	太华群	200.00	272.00	0.716072	2.129208	0.71221
DH-08-15	太华群	140.00	282.00	0.736418	1.440452	0.72906
DH-08-16	太华群	168.00	306.00	0.733996	1.592594	0.73195
ZK-628	太华群	131.00	379.00	0.735122	1.002760	0.73201
平均						0.72294

表2 大湖金钼矿床金属硫化物及太华群 Nd 同位素组成

Table 2 The Nd isotope ratios of sulfides and Taihua Group from the Dahu Au-Mo deposit

样品号	样品名	Sm(10^{-6})	Nd(10^{-6})	$\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}$	$\frac{^{147}\text{Sm}}{^{144}\text{Nd}}$	$\left(\frac{^{143}\text{Nd}}{^{144}\text{Nd}}\right)_i$	$f_{\text{Sm}/\text{Nd}}$	$\epsilon_{\text{Nd}}(t)$
7-002-2	黄铜矿	0.06	0.62	0.511674	0.0595	0.51159	-0.70	-15.0
7-005-3	黄铜矿	0.01	0.06	0.511842	0.1228	0.51167	-0.38	-13.5
DH-3	黄铁矿	0.43	4.42	0.511737	0.0583	0.51165	-0.70	-13.7
DH-07-1	黄铁矿	0.13	1.16	0.511675	0.0657	0.51158	-0.67	-15.1
DH-07	黄铁矿	0.09	0.37	0.511743	0.1520	0.51153	-0.23	-16.2
DH-04	黄铁矿	0.01	0.11	0.512246	0.0684	0.51215	-0.65	-4.1
7-005-1	黄铁矿	0.01	0.12	0.511625	0.0526	0.51155	-0.73	-15.8
7-002-1	黄铁矿	0.02	0.12	0.511674	0.1025	0.51153	-0.48	-16.2
35-010-1	黄铁矿	0.08	0.62	0.511764	0.0765	0.51165	-0.61	-13.7
DH-4	方铅矿	0.03	0.11	0.511848	0.1711	0.51160	-0.13	-14.7
DH-08-20	方铅矿	0.37	3.06	0.511662	0.0727	0.51156	-0.63	-15.6
35-010-2	方铅矿	0.17	1.21	0.511551	0.0839	0.51143	-0.57	-18.1
DH-08-04	辉钼矿	44.20	379.00	0.511642	0.0705	0.51154	-0.64	-15.9
DH-08-21	辉钼矿	51.90	429.00	0.511764	0.0731	0.51166	-0.63	-13.6
DH-08-22	辉钼矿	156.00	1566.00	0.511727	0.0602	0.51164	-0.69	-14.0
DH-08-23	辉钼矿	67.90	368.00	0.511703	0.1115	0.51154	-0.43	-15.9
	平均					0.51162	-0.55	-14.4
DH-08-08	太华群	8.70	16.30	0.511400	0.3226	0.51094	0.64	-27.7
DH-08-12	太华群	5.89	25.60	0.511361	0.1391	0.51116	-0.29	-23.3
DH-08-15	太华群	15.60	111.00	0.510886	0.0849	0.51076	-0.57	-31.1
DH-08-16	太华群	3.06	15.70	0.511501	0.1178	0.51133	-0.40	-20.0
ZK-628	太华群	1.96	10.30	0.511313	0.1150	0.51115	-0.42	-23.6
	平均					0.51107	-0.21	-25.1

表3 大湖金钼矿床金属硫化物及太华群 Pb 同位素组成

Table 3 The Pb isotope composition of sulfides and Taihua Group from the Dahu Au-Mo deposit

样品号	样品名	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	Pb (10^{-6})	Th (10^{-6})	U (10^{-6})	$\left(\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_i$	$\left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_i$	$\left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_i$
7-002-2	黄铜矿	37.484	15.402	17.147	2602	0.174	0.161	37.484	15.402	17.147
7-005-3	黄铜矿	37.372	15.358	17.033	81599	0.023	0.017	37.372	15.358	17.033
DH-3	黄铁矿	37.307	15.397	17.230	4664	0.162	0.029	37.307	15.397	17.230
DH-07-1	黄铁矿	37.479	15.400	17.161	2032	0.081	0.025	37.479	15.400	17.161
DH-07	黄铁矿	37.478	15.400	17.158	9674	0.040	0.020	37.478	15.400	17.158
DH-04	黄铁矿	37.474	15.395	17.077	4049	0.033	0.015	37.474	15.395	17.077
7-005-1	黄铁矿	37.447	15.387	17.084	20829	0.032	0.021	37.447	15.387	17.084
7-002-1	黄铁矿	37.498	15.415	17.158	696	0.032	0.025	37.498	15.415	17.158
35-010-1	黄铁矿	37.379	15.410	17.223	6999	0.022	0.033	37.379	15.410	17.223
DH-4	方铅矿	37.536	15.417	17.110	642147	0.080	0.017	37.536	15.417	17.110
DH-08-20	方铅矿	37.582	15.438	17.126	768471	0.223	1.580	37.582	15.438	17.126
35-010-2	方铅矿	37.380	15.411	17.222	681027	0.067	0.164	37.380	15.411	17.222
DH-08-04	辉钼矿	37.376	15.421	17.286	3718	19.400	1.030	37.376	15.421	17.285
DH-08-21	辉钼矿	37.441	15.415	17.195	14120	16.400	1.680	37.440	15.415	17.195
DH-08-22	辉钼矿	37.436	15.395	17.135	55906	54.100	10.200	37.435	15.395	17.135
DH-08-23	辉钼矿	37.376	15.414	17.255	5008	22.000	4.370	37.373	15.414	17.253
DH-08-08	太华群	37.863	15.454	17.548	62.7	4.400	2.670	37.814	15.449	17.457
DH-08-12	太华群	37.506	15.429	17.272	159	1.780	1.050	37.498	15.428	17.258
DH-08-15	太华群	49.758	15.606	18.441	66.7	21.600	1.300	49.492	15.604	18.392
DH-08-16	太华群	37.538	15.454	17.511	72.5	0.490	0.300	37.533	15.454	17.502
ZK-628	太华群	37.645	15.417	17.138	378	14.600	2.030	37.618	15.416	17.127

4 成矿物质来源和构造环境

锶、钕、铅同位素是研究物质来源的有效示踪剂。从理论上来说,Rb, Sr, Sm, Nd, U, Th 不进入硫化物晶格,在硫化物中的赋存状态尚待研究。前人研究表明,黄铁矿含有矿物包体、流体包裹体和晶格缺陷,而 Rb, Sr, Sm, Nd, U, Th 可能主要赋存于含 K、Ca 矿物(云母、长石等)包体、流体包裹体以及晶格缺陷中(Barton and Hallbauer, 1996; Lüders and Ziemann, 1999)。如果矿物包体也是从成矿流体系统中结晶形成,则无论 Rb, Sr, Sm, Nd, U, Th 等元素赋存形式如何,黄铁矿等硫化物的锶钕铅同位素组成可以用于示踪成矿物质和流体的来源,因此,一些学者已经进行了很多尝试(Jiang et al., 1999, 2000; Yang and Zhou, 2001; Chen et al., 2005, 2008, 2009; Zhao et al., 2007; Zhang et al., 2009. 侯明兰等,2006; 韩以贵等,2007; 祁进平等, 2009; 张莉等, 2009; 张静等, 2009)。

大湖金钼矿床矿石硫化物的 $I_{Sr} = 0.70470 - 0.71312$, 平均 0.70854 , 显示出壳幔混合的特征; 5 件太华超群基底片麻岩样品 I_{Sr} 变化于 $0.70947 - 0.73201$, 平均 0.72294 (表 1)。由于矿石硫化物的平均 I_{Sr} 值低于基底片麻岩的最低 I_{Sr} 值, 表明矿石中的 Sr 不可能单由基底片麻岩提供; 如果基底片麻岩向成矿系统提供了 Sr, 则要求存在另一端元的物源区, 且这一端元必须具有较低含量的放射性成因 Sr, 其 I_{Sr} 值必须低于矿石硫化物。

硫化物 $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i = 0.51143 - 0.51215$, 平均 0.51162 , $\epsilon_{Nd}(t) = -4.1 \sim -18.1$, 平均 -14.4 , $f_{Sm/Nd} = -0.13 \sim -0.73$, 平均 -0.55 (表 2); 5 件片麻岩样品 $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i = 0.51076 - 0.51133$, 平均 0.51107 , $\epsilon_{Nd}(t) = -20.0 \sim -31.1$, 平均 -25.1 , $f_{Sm/Nd} = -0.57 \sim 0.64$, 平均 -0.21 (表 2)。硫化物 $\epsilon_{Nd}(t)$ 为较大的负值, 指示成矿物质可能来源于古老地壳, 即基底片麻岩。然而, 基底片麻岩 $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$ 的最高值 (0.51133) 尚低于金属硫化物 $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$ 的最低值 (0.51143), 说明硫化物中的 Nd 不可能单由基底岩石提供, 尚需 $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$ 值高于硫化物 $(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$ 值的另一个端元的物质来源, 即放射性成因

Nd 较高的物质端元。

从表 3 可以看出, 由于金属硫化物中 U、Th 含量相对 Pb 含量较低, 故按 218Ma 扣除放射性成因铅后, 铅同位素比值几乎无变化。 $(^{206}Pb/^{204}Pb)_i = 17.033 - 17.285$, $(^{207}Pb/^{204}Pb)_i = 15.358 - 15.438$, $(^{208}Pb/^{204}Pb)_i = 37.307 - 37.582$, 其平均值分别是 17.162 , 15.405 和 37.440 。太华超群样品中, 除 DH-08-15 样品 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 明显偏高外, 其它样品 U、Th 含量相对较高, 扣除 218Ma 以来积累的放射性成因铅之后, 求得 $(^{206}Pb/^{204}Pb)_i = 17.127 - 18.392$, $(^{207}Pb/^{204}Pb)_i = 15.416 - 15.604$, $(^{208}Pb/^{204}Pb)_i = 37.498 - 37.814$, 其平均值分别是 17.547 , 15.470 , 37.616 (表 3)。可见, 太华超群的 Pb 同位素比值均高于硫化物, 太华超群较硫化物代表的成矿系统具有较高的放射性成因 Pb; 如果太华超群是成矿物质来源之一, 则要求另一个具有低放射性成因 Pb 的物源区与之平衡, 方可满足硫化物铅同位素特征。

前述表明, 基底片麻岩太华超群样品的放射成因 Sr 和 Pb 高于矿石硫化物, 而放射成因 Nd 低于硫化物, 单由基底片麻岩无法解释成矿系统的同位素地球化学特征。考虑到基底片麻岩是成矿系统的直接围岩, 部分矿体或矿石本身就是蚀变矿化的基底片麻岩, 基底片麻岩是无法排除的主要成矿物质来源之一, 因此, 作为平衡补偿, 另一个同位素地球化学特征与基底片麻岩相反的物源区必不可少, 即尚有一个放射成因 Sr 和 Pb 低于硫化物而放射成因 Nd 高于硫化物的物源区向成矿系统提供了成矿物质和流体。

综观小秦岭矿田及其邻区, 可能为另一个物源区的地质体有: 中生代花岗岩、下伏地幔、中下地壳、位于小秦岭南侧的熊耳群及上覆中-上元古代地层(官道口群-栾川群)。它们作为物源区的条件之一是必须具有较低的铅同位素比值, 即铅同位素比值低于硫化物。如此以来, 只有熊耳群和下伏地幔可能具有较低的铅同位素组成(Chen et al., 2008; 张本仁等, 2002), 进而满足要求。

熊耳群是一套安山质火山岩, 已有 Pb 同位素数据(罗铭玖等, 1992; 赵太平, 2000; 张本仁等, 2002) 表明, $(^{206}Pb/^{204}Pb)_i = 17.033 - 17.285$, $(^{207}Pb/^{204}Pb)_i = 15.271 - 15.424$, $(^{208}Pb/^{204}Pb)_i = 36.047 - 37.267$, 平均值分别是 16.426 , 15.321 和 36.628 (表 4), 放射性成因 Pb 含量较低。在图 3 中, 硫化物落于太

表 4 熊耳群 Pb 同位素组成

Table 4 The Pb isotope composition of Xiong'er Group

序号	采样地	样品(数量)	测试对象	$\frac{^{206}Pb}{^{204}Pb}$	$\frac{^{207}Pb}{^{204}Pb}$	$\frac{^{208}Pb}{^{204}Pb}$	资料来源
1	熊耳群	安山岩(2)	全岩	36.047	15.300	16.279	张本仁等, 2002
2	熊耳群	巨斑安山岩	全岩	36.346	15.421	16.907	罗铭玖等, 1992
3	熊耳群	安山岩	全岩	36.876	15.300	16.647	罗铭玖等, 1992
4	熊耳群	杏仁安山岩	全岩	36.489	15.271	16.439	罗铭玖等, 1992
5	熊耳群	闪长玢岩	全岩	36.887	15.358	16.451	罗铭玖等, 1992
6	熊耳群	高钾玄武安山岩	全岩	36.672	15.294	16.303	赵太平, 2000
7	熊耳群	橄榄玄粗岩	全岩	36.443	15.349	16.125	赵太平, 2000
8	熊耳群	高钾安山岩	全岩	37.267	15.275	16.258	赵太平, 2000
平均值				36.628	15.321	16.426	

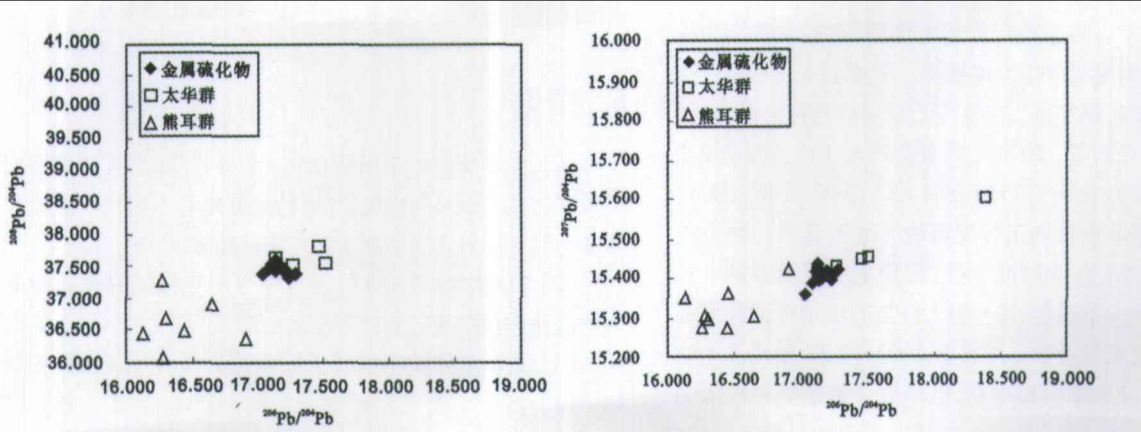


图3 大湖金钼矿床 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图解

Fig. 3 Plots of $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ for the Dahu Au-Mo deposit

华超群与熊耳群之间,三者间表现出较好的线性关系,表明成矿物质来源可能为太华群与熊耳群的混合。

熊耳群普遍遭受钠长石化、绿泥石化、绿帘石化等低温热液蚀变作用。熊耳群 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化于 10.69‰ ~ 15.95‰ (表5),也显示了后期热液蚀变作用的影响,因为通常情况下,岛弧火山岩的 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化于 5.5‰ ~ 6.8‰ (Ito and Stern, 1985),虽然岩石 $\delta^{18}\text{O}$ 值与岩浆分异和混染 (AFC) 有关,随 SiO_2 含量增加而升高,但 $\delta^{18}\text{O}$ 值的增加一般不超过 2‰ (Valley *et al.*, 1994)。然而,蚀变熊耳群的最低 I_{Sr} 值达

0.71134,高于大湖金钼矿床的硫化物 I_{Sr} 值的平均值 (0.70854),如果熊耳群作为成矿流体的来源,仍无法解释矿石硫化物锶同位素地球化学特征。此外,据赵太平(2000),熊耳群在 218Ma 时的 $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i = 0.51093 - 0.51163$,其平均值 (0.51113) 低于金属硫化物的平均值 (0.51162),不但不具备作为单独的物质来源的条件,而且也不具备通过与太华超群混合而作为物源区的条件。可见,熊耳群因为没有显示低放射成因 Sr、高放射成因 Nd 的同位素特征,而不可能作为大湖金钼矿床的重要物质来源。

表5 熊耳群的锶、氧同位素组成

Table 5 The Sr and O isotope composition of Xionger Group

样品号	采样地	岩性	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	I_{Sr} (218Ma)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
B-1	熊耳群	辉长岩	0.71232	0.3151	0.71134	10.69
JY-5	熊耳群	粗面安山岩	0.72481	0.7971	0.72234	10.96
JY-11	熊耳群	高钾安山岩	0.72652	0.8752	0.72381	11.87
SY-33	熊耳群	高钾玄武安山岩	0.71266	0.3706	0.71151	13.46
X-2	熊耳群	粗面安山岩	0.73112	1.1620	0.72751	15.95

注:数据引自 赵太平(2000)

鉴于熊耳群的可能性被排除,所剩唯一可能的物源区就是地幔。从图4可以看出,金属硫化物的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值已与 EM-1 相当,而 I_{Sr} 值也与 EM-1 接近,这要求源区地幔具有正常或亏损地幔的特征,因为只有这类地幔的放射性成因 Sr、Pb 才能低于矿石硫化物,而高放射性成因 Nd 高于矿石硫化物。显然,经历了部分熔融的残余大洋岩石圈可满足要求。

在秦岭地区,三叠纪之前海相地层广泛发育,勉略和商丹海盆依然存在;三叠纪之后,只发育陆相地层,海相地层缺失。这一事实充分表明三叠纪实现了海陆转变,由古洋盆消减转变为大陆碰撞(陈衍景和富士谷, 1992; 张国伟等, 2001; Zhang *et al.*, 2002; Chen *et al.*, 2007)。然而,关于大洋俯冲转变为大陆碰撞的具体时间、过程和机制,目前研究

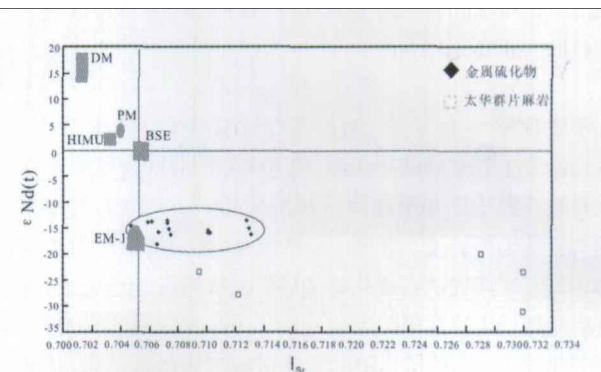


图4 大湖金钼矿床 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ - I_{Sr} 图解

Fig. 4 The $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ - I_{Sr} plot of the Dahu Au-Mo deposit

薄弱,致使有些学者将三叠纪作为碰撞前,有些学者作为碰撞后,更多学者则笼统地作为碰撞期。考虑到:(1)靠近勉略缝合带的阳山矿田发育220Ma左右的碰撞型花岗斑岩(刘红杰等,2008;张莉等,2009),而南秦岭地区广泛发育220~205Ma的碰撞型花岗岩(Zhang *et al.*, 2002及其引文);(2)北秦岭或华北克拉通南缘发育晚三叠世富碱花岗岩类(弓虎军等,2009a,b)和碳酸岩类,而黄龙铺碳酸岩稀土元素配分模式表现为平坦型,系亏损大洋岩石圈地幔低程度部分熔融或流体交代的产物(许成等,2009);(3)勉略洋于晚古生代打开,至三叠纪仍然存在,勉略缝合带南侧的松潘盆地发育巨厚三叠纪复理石建造(张国伟等,2001;张本仁等,2002)。本文认为,在218Ma之前,古商丹洋壳和勉略洋壳向北俯冲到秦岭造山带和华北克拉通南缘之下,俯冲-变质脱水-部分熔融之后的残留洋壳物质堆积在华北克拉通南缘之下,使华北克拉通南缘的下伏地幔在古生代-三叠纪被置换为亏损地幔(图5A)。在218Ma左右,由这种亏损地幔脱水或交代而形成的初始成矿流体或岩浆自然记录了亏损地幔的特征,即具有较低含量的放射性成因Pb、Sr、Nd等同位素,这种来源的流体或岩浆上升至地壳并与地壳物质混合或相互作用,所形成的矿床也就显示了大湖金钼矿床或黄龙铺碳酸岩型钼矿床的地球化学特征。

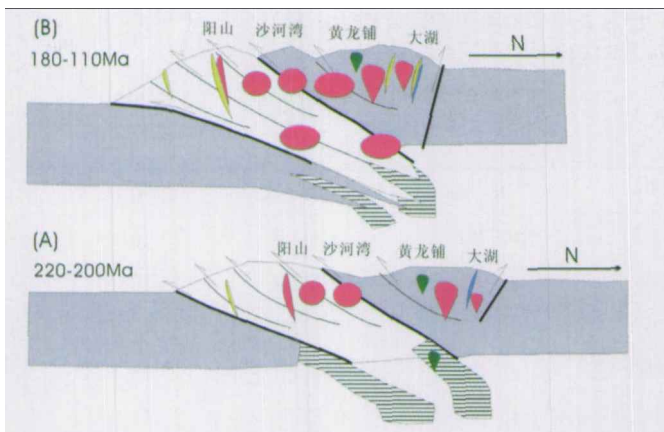


图5 大湖金钼矿床成矿-构造演化示意图

Fig. 5 Cartoons showing tectonic-metallogenic evolution of the Dahu Au-Mo deposit

不难理解,大量亏损地幔的存在指示着研究区在218Ma左右尚未发生强烈的陆陆碰撞,因为强烈的陆陆碰撞势必导致大量地壳物质以A型俯冲的方式挤入岩石圈地幔,使亏损地幔向富集地幔转变(图5B)。事实上,这一认识可为小秦岭燕山期金矿床的矿石硫化物或成矿流体的 I_{Sr} 值所佐证,其 I_{Sr} 值明显高于大湖金钼矿床硫化物 I_{Sr} 值(祁进平等,2006)。因此,218Ma时,秦岭造山带的大陆碰撞作用尚未结束,甚至是刚刚开始(许成等,2009)。

5 结论

(1) 大湖金钼矿金属硫化物Sr-Nd-Pb同位素特征表明其成矿物质来源具壳幔混合的特征,是来自亏损地幔的成矿流体与赋矿围岩太华超群水岩作用的结果。

(2) 218Ma时华北克拉通南缘亏损地幔的存在指示着大陆碰撞作用在晚三叠世并没有结束。

(3) 大湖金钼矿床形成于碰撞前的弧后环境或碰撞初始阶段。

致谢 野外工作得到河南省地质调查院及灵宝市金源公司的支持,在岩矿鉴定及单矿物挑选过程中得到刘铁庚研究员的指导,在Sr, Nd, Pb同位素测试过程中得到北京核工业地质研究院刘牧老师的帮助,陈衍景教授具体指导了研究工作并修改了论文,特此致谢!

References

- Barton ES and Hallbauer DK. 1996. Trace-element and U-Pb isotope compositions of pyrite types in the Proterozoic Black Reef, Transvaal Sequence, South Africa; Implications on genesis and age. *Chemical Geology*, 133: 173-199
- Chen L. 2006. Characteristic of ore-forming fluid and ore genesis of Dahu gold deposit, in Xiaoqinling gold area. [Master dissertation]. China University of Geoscience (Beijing), Beijing, 88 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ and Fu SG. 1992. Gold Mineralization in West Henan, China. Beijing: Seismological Press, 234 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ, Fu SG and Qiang LZ. 1992. The tectonic environment for the formation of the Xiong'er Group and the Xiyanghe Group. *Geological Review*, 38(4): 325-333
- Chen YJ, Guo GJ, and Li X. 1998. Metallogenic geodynamic background of gold deposits in Granite-greenstone terrains of North China craton. *Science in China series D*, 41(2): 113-120
- Chen YJ, Li C, Zhang J, Li Z, Wang H H. 2000. Sr and O isotopic characteristics of porphyries in the Qinling molybdenum deposit belt and their implication to genetic mechanism and type *Science in China Series D*, 43(Supp.): 82-94
- Chen YJ, Pirajno F and Qi JP. 2008. The Shanggong gold deposit, Eastern Qinling Orogen, China: Isotope geochemistry and implications for ore genesis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 33: 252-266
- Chen YJ, Pirajno F, Li N, Guo DS and Lai Y. 2009. Isotope systematics and fluid inclusion studies of the Qiyugou breccia pipe-hosted gold deposit, Qinling Orogen, Henan province, China: implications for ore genesis. *Ore Geology Review*, 35(2): 245-261
- Chen YJ, Pirajno F, Qi JP. 2005. Origin of gold metallogeny and sources of ore-forming fluids, in the Jiaodong province, eastern China. *International Geology Review*, 47: 530-549
- Chen YJ, Pirajno F, Sui Y H. 2004. Isotope geochemistry of the Tieluping silver deposit, Henan, China: A case study of orogenic silver deposits and related tectonic setting. *Mineralium Deposita*, 39: 560-575
- Chen YJ, Zhai MG and Jiang SY. 2009. Significant achievements and open issues in study of orogenesis and metallogenesis surrounding the North China continent. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 2695-2726

- Chen YJ. 1996. Fluidization model for intra-continental collision and its metallogenic significance; theoretical inference and evidences from gold deposits, the Eastern Qinling Mountains. *Earth Science Frontiers*, 3(4): 282 - 289
- Chen YJ. 2006. Orogenic-type deposits and their metallogenic model and exploration potential. *Geology in China*, 33(6): 1181 - 1196 (in Chinese with English abstract)
- Deng XH, Chen YJ, Yao JM and Li WB *et al.* 2008. Fluid inclusion constraints on the origin of the Zhaiwa Mo deposit, Luoning county, Henan Province. *Geology in China*, 35(6): 1250 - 1266 (in Chinese with English abstract)
- Gong HJ, Zhu LM, Sun BY, Li B and Guo B. 2009a. Zircon U-Pb ages and Hf isotope characteristics and their geological significance of the Shahewan, Caoping and Zhashui granitic plutons in the South Qinling orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 25(2): 248 - 264
- Gong HJ, Zhu LM, Sun BY, Li B, Guo B and Wang JQ. 2009b. Zircon U-Pb ages and Hf isotopic composition of the Dongjiangkou granitic pluton and its mafic enclaves in the South Qinling terrain. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 3029 - 3042 (in Chinese with English Abstract)
- Han YG, Li XH, Zhang SH, Zhang YH and Chen FK. 2007. The Rb-Sr isochron of single grain and cracked-looking pyrite from Qiyugou gold deposit in western Henan province. *Chinese Science Bulletin*, 52(11): 1307 - 1311 (in Chinese)
- He CF. 2003. The effect of fracture ore-controlling of the north mineralized belt F5 in Minor Qinling Mountain gold field. *Gold*, 24(9): 3 - 7 (in Chinese with English abstract)
- Hou M, Jiang SY, Jiang YH and Ling HF. 2006. S-Pb isotope geochemistry and Rb-Sr geochronology of the Penglai gold field in the eastern Shangdong province. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2525 - 2533
- Hu SX. 1988. *Geology and Metallogeny of the Collision Belt Between the South China and North China Plates*. Nanjing: Nanjing University Press, 1 - 558 (in Chinese)
- Ito K and Stern RJ. 1985. Oxygen and strontium-isotopic investigations of subduction zone volcanism: the case of the Volcano Arc and the Marianas Island Arc. *Earth and Planetary Science Letters*, 76: 312 - 320
- Jacobsen SB, Wasserburg GJ. 1980. Nd isotopic evolution of chondrites. *Earth Planetary Science Letters*, 50: 139 - 155
- Jia CZ, Shi YS and Guo LZ. 1988. *Plate tectonics in East Qinling*. Nanjing: Nanjing University Press, 1 - 130 (in Chinese)
- Jiang SY, Han F, Shen JZ, Palmer MR. 1999. Chemical and Sr-Nd isotopic systematics of tourmaline from the Dachang Sn-polymetallic ore deposit, Guangxi Province, China. *Chemical Geology*, 157: 49 - 67
- Jiang SY, Slack JF, Palmer MR. 2000. Sm-Nd dating of the giant Sullivan Pb-Zn-Ag deposit, British Columbia. *Geology*, 28: 751 - 754
- Jiang SY, Dai BZ, Jiang YH, Zhao HX and Hou ML. 2009. Jiaodong and Xiaoqinling: two orogenic gold provinces formed in different tectonic settings. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 2727 - 2738 (in Chinese with English abstract)
- Kerrick R, Goldfarb R, Groves D, Garwin S and Jia YF. 2000. The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces. *Science in China (Series D)*, 43(Supp.): 1 - 68
- Li N, Chen YJ, Zhang H, Zhao TP, Deng XH, Wang Y, Ni ZY. 2007. Molybdenum deposits in East Qinling. *Earth Science Frontiers*, 14(5): 186 - 198 (in Chinese with English abstract)
- Li N, Sun YL, Li J, Xue LW and Li WB. 2008. The molybdenite ReOs isotope age of the Dahu AuMo deposit, Xiaoqinling and the Indosinian mineralization. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4): 810 - 816
- Li QZ, Chen YJ, Zhong ZQ, Li WL, Li SR, Guo XD and Jin BY. 2002. Ar-Ar dating on metallogenesis of the Dongchunag gold deposit, Xiaoqinling area, China. *Acta Geol. Sin.*, 76(4), 483 - 493
- Li XB and Liu JS. 2003. Zonation pattern of mineralization in Dahu Au deposit, Xiaoqinling area and its indicative importance for Au ore prospecting. *Contribution to Geology and Mineral Resource Research*, 18(4): 243 - 248 (in Chinese with English abstract)
- Liu HJ, Chen YJ, Mao SD, Zhao CH and Yang RS. 2008. Element and Sr-Nb-Pb isotope geochemistry of granite-porphry dykes in the Yangshan gold belt, western Qinling orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 24(5): 1101 - 1111
- Lüders V and Ziemann M. 1999. Possibilities and limits of infrared light microthermometry applied to studies of pyrite-hosted fluid inclusions. *Chemical Geology*, 154: 169 - 178
- Luo MJ. 1992. *Gold deposit in Henan*. Beijing: Seismological Press, 1 - 312 (in Chinese)
- Mao JW, Goldfarb RJ, Zhang ZW, Xu WY, Qiu YM and Deng J. 2002. Gold deposits in the Xiaoqinling-Xiong'er shan region, Central China. *Mineralium Deposita*, 37(3): 306 - 325
- Ni ZY, Li N, Guan SJ, Zhang H and Xue LW. 2008. Characteristics of fluid inclusions and ore genesis of the Dahu Au-Mo deposit in the Xiaoqinling gold field, Henan province. *Acta Petrologica Sinica*, 24(9): 2058 - 2068 (in Chinese with English abstract)
- Qi JP, Chen YJ and Li QZ. 2002. Synthesis of hydrothermal metallogenesis in the Xiaoqinling orogenic gold field. *Mineral Deposit*, 21(Supp): 1009 - 1012 (in Chinese)
- Qi JP, Chen YJ, Ni P and Lai Y *et al.* 2007. Fluid inclusion constraints on the origin of the Lengshuibeiou Pb-Zn-Ag deposit, Henan province. *Acta Petrologica Sinica*, 23(9): 2119 - 2130
- Qi JP, Lai Y, Ren KX and Tang GJ. 2006. Sr-isotope constraint on the origin of the Xiaoqingling gold field. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2543 - 2550 (in Chinese with English abstract)
- Qi JP, Song YW, Li SQ, Chen FK. 2009. Single-grain Rb-Sr isotopic composition of the Xigou Pb-Zn-Ag deposit, Luanchuan, Henan province. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 2843 - 2854 (in Chinese with English abstract)
- Valley JW, Chiarenzelli JR and McLelland JM. 1994. Oxygen isotope geochemistry of zircon. *Earth and Planetary Science Letters*, 126: 187 - 206
- Wei QG, Yao JM, Zhao TP, Sun YL, Li J, Yuan ZL, Qiao B. 2009. Discovery of a ~1.9 Ga Mo deposit in the eastern Qinling orogen: Molybdenite Re-Os ages of the Longmendian Mo deposit in Henan Province. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 2747 - 2751 (in Chinese with English abstract)
- Xu C, Song WL, Qi Liang and Wang LJ. 2009. Geochemical characteristics and tectonic setting of ore-bearing carbonatites in Huanglongpu Mo ore field. *Acta Petrologica Sinica*, 25(2): 422 - 430
- Yang JH and Zhou XH. 2001. Rb-Sr, Sm-Nd, and Pb isotope systematics of pyrite; Implications for the age and genesis of lode gold deposits. *Geology*, 29(8): 711 - 714
- Yao JM, Zhao TP, Wei QG and Yuan ZL. 2008. Fluid inclusion features and genetic type of the Wangpingxigou Pb-Zn deposit, Henan province. *Acta Petrologica Sinica*, 24(9): 2113 - 2123 (in Chinese with English abstract)
- Zhang BR, Gao S, Zhang HF, Han YW. 2002. *Geochemistry of the Qinling orogeny*. Beijing: Science press of China, 1 - 187 (in Chinese)
- Zhang GW, Zhang BR, Yuan JC, Xiao QH. 2001. The Qinling orogenic belt and continental dynamics. Beijing: Science Press of China
- Zhang J, Chen YJ, Qi JP, and Ge J. 2009. Comparison of the typical metallogenic systems in the north slope of the Tongbai-East Qinling Mountains and its geologic implications. *Acta Geologica Sinica (English edition)*, 83(2): 396 - 410
- Zhang J, Chen YJ, Shu GM, Zhang FX, Li C. 2002. Compositional study of minerals within the Qinlingiang granite, southwestern Shaanxi Province and discussions on the related problems. *Science in China Series D*, 45(7), 662 - 672
- Zhang J, Yang Y, Hu HZ, Wang ZG, Li GP and Li ZL. 2009. C-S-Pb isotope geochemistry of the Yindongou orogenic-type silver deposit in Henan province. *Acta Petrologica Sinica*, 25(11): 2833 - 2842 (in Chinese with English abstract)

- Zhang JJ, Zheng YD, Liu SW. 1998. The Xiaqingling metamorphic core complex: structure, genetic, mechanism and evolution. Beijing: Ocean press, 1 - 120 (in Chinese with English abstract)
- Zhang JJ, Zheng YD, Liu SW. 2003. Mesozoic tectonic evolution and ore-deposits formation in the gold mine field of Xiaqingling. Chinese Journal of Geology, 38 (1): 74 - 84 (in Chinese with English abstract)
- Zhang L, Yang RS, Mao SD, Lu YH, Qin Y and Liu HJ. 2009. Sr and Pb isotopic feature and ore-forming material source of the Yangshan gold deposit. Acta Petrologica Sinica, 25 (11): 2811 - 2822 (in Chinese with English abstract)
- Zhao KD, Jiang SY, Ni P, Ling HF, Jiang YH. 2007. Sulfur, lead and helium isotopic compositions of sulfide minerals from the Dachang Sn-polymetallic ore district in South China: implication for ore genesis. Mineralogy and Petrology, 89(3-4): 251 - 273
- Zhao GC, Cawood PA, Wilde SA, Sun M. 2002. Review of global 2.1 - 1.8 Ga orogens: implications for a pre-Rodinia supercontinent. Earth-Science Reviews, 59: 125 - 162
- Zhao TP. 2000. The characteristic and genesis of Proterozoic potassic volcanic rock in southern margin of the North plate. [Doctor dissertation]. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 102 (in Chinese with English abstract)
- 附中文参考文献**
- 陈莉. 2006. 小秦岭大湖金矿床成矿流体特征及矿床成因探讨. 中国地质大学(北京)硕士学位论文. 1 - 88
- 陈衍景, 富士谷, 强立志. 1992. 评熊耳群和西阳河群形成的构造背景. 地质论评, 38(4): 325 - 333
- 陈衍景, 富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律. 北京: 地震出版社, 1 - 234
- 陈衍景, 翟明国, 蒋少涌. 2009. 华北大陆边缘造山过程与成矿研究的重要进展和问题. 岩石学报, 25(11): 2695 - 2726
- 陈衍景. 1996. 碰撞造山体制的流体演化模式: 理论推导和东秦岭金矿床的研究结果. 地质前缘, 3(4): 282 - 289
- 陈衍景. 2006. 造山型矿床、成矿模式及找矿潜力. 中国地质, 33(6): 1181 - 1196
- 邓小华, 陈衍景, 姚军明, 李文博等. 2008. 河南省洛宁县寨凹铅矿床流体包裹体研究及矿床成因. 中国地质, 35(6): 1250 - 1266
- 弓虎军, 朱赖民, 孙博亚, 李舜, 郭波. 2009a. 南秦岭沙河湾、曹坪、柞水岩体锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素特征及其地质意义. 岩石学报, 25(2): 248 - 264
- 弓虎军, 朱赖民, 孙博亚, 李舜, 郭波, 王建其. 2009b. 南秦岭地体东江口花岗岩及其基性包体的锆石 U-Pb 年龄和 Hf 同位素组成. 岩石学报, 25(11): 3029 - 3042
- 韩以贵, 李向辉, 张世红, 张元厚, 陈福坤. 2007. 豫西祁雨沟金矿单颗粒和碎裂状黄铁矿 Rb-Sr 等时线定年. 科学通报, 52(11): 1307 - 1311
- 何春芬. 2003. 小秦岭金矿田北矿带 F5 断裂控矿作用. 黄金, 24(3): 3 - 7
- 胡受翼. 1988. 华北与华南古板块拼合带地质和成矿. 南京: 南京大学出版社, 1 - 588
- 侯明兰, 蒋少涌, 姜耀辉, 凌洪飞. 2006. 胶东蓬莱金成矿区的 S-Pb 同位素地球化学和 Rb-Sr 同位素年代学研究. 岩石学报, 22(10): 2525 - 2533
- 贾承造, 施央申, 郭令智. 1988. 东秦岭板块构造. 南京: 南京大学出版社, 1 - 130
- 蒋少涌, 戴宝章, 姜耀辉, 赵海香, 侯明兰. 2009. 胶东和小秦岭: 两类不同构造环境中的造山型金矿省. 岩石学报, 25(11): 2727 - 2738
- 李诺, 陈衍景, 张辉, 赵太平, 邓小华, 王运, 倪智勇. 2007. 东秦岭斑岩钼矿带的地质特征和成矿构造背景. 地质前缘, 14(5): 186 - 198
- 李诺, 孙亚丽, 李晶, 薛良伟, 李文博. 2008. 小秦岭大湖金矿床辉钼矿铼钨同位素年龄及印支期成矿事件. 岩石学报, 24(4): 810 - 816
- 李晓波, 刘继顺. 2003. 小秦岭大湖金矿床的矿化分带规律及其指示意义. 地质找矿论丛, 18(4): 243 - 248
- 刘红杰, 陈衍景, 毛世东, 赵成海, 杨荣生. 西秦岭阳山金矿带花岗岩斑岩元素及 Sr-Nd-Pb 同位素地球化学. 岩石学报, 24(5): 1101 - 1111
- 罗铭玖. 1992. 河南金矿概论. 北京: 地震出版社, 1 - 312
- 倪智勇, 李诺, 张辉, 管申进, 薛良伟. 2008. 河南小秦岭金矿田大湖金-钼矿床流体包裹体特征及矿床成因. 岩石学报, 24(9): 2058 - 2068
- 祁进平, 陈衍景, 李强之. 2002. 小秦岭造山型金矿的流体成矿作用分析. 矿床地质, 21(增刊): 1009 - 1012
- 祁进平, 赖勇, 任康绪, 唐国军. 2006. 小秦岭金矿田成因的铼同位素约束. 岩石学报, 22(10): 2543 - 2550
- 祁进平, 陈衍景, 倪培, 赖勇等. 2007. 河南冷水北沟铅锌银矿床流体包裹体研究及矿床成因. 岩石学报, 23(9): 2119 - 2130
- 祁进平, 宋要武, 李双庆, 陈福坤. 2009. 河南省栾川县西沟铅锌银矿床铷-铼同位素研究. 岩石学报, 25(11): 2843 - 2854
- 魏庆国, 姚军明, 赵太平, 孙亚莉, 李晶, 原振雷, 乔波. 2009. 东秦岭发现 ~1.9Ga 钼矿床-河南龙门店钼矿床 Re-Os 定年. 岩石学报, 25(11): 2747 - 2751
- 许成, 宋文磊, 漆亮, 王林均. 2009. 黄龙铺钼矿田含矿碳酸岩地球化学特征及其形成构造背景. 岩石学报, 25(2): 422 - 430
- 姚军明, 赵太平, 魏庆国, 原振雷. 2008. 河南王坪西沟铅锌矿床流体包裹体特征和矿床成因类型. 岩石学报, 24(9): 2113 - 2123
- 张本仁, 高山, 张宏飞, 韩吟文. 2002. 秦岭造山带地球化学. 北京: 科学出版社, 1 - 187
- 张国伟, 张本仁, 袁家诚, 肖庆辉. 2001. 秦岭造山带与大陆动力学. 北京: 科学出版社
- 张进江, 郑亚东, 刘树文. 1998. 小秦岭变质核杂岩的构造特征、形成机制及构造演化. 北京: 海洋出版社, 1 - 120
- 张进江, 郑亚东, 刘树文. 2003. 小秦岭金矿田中生代构造演化与矿床形成. 地质科学, 38(1): 74 - 84
- 张静, 杨艳, 胡海珠, 王志光, 李国平, 李忠烈. 2009. 河南内乡县银洞沟造山型银矿床硫碳铅同位素地球化学. 岩石学报, 25(11): 2833 - 2842
- 张莉, 杨荣生, 毛世东, 鲁颖淮, 秦艳, 刘红杰. 2009. 阳山金矿床铼钨同位素地球化学与成矿物质来源. 岩石学报, 25(11): 2811 - 2822
- 赵太平. 2000. 华北陆块南缘元古宙熊耳群钾质火山岩特征与成因. 中国科学院地质地球物理研究所博士学位论文, 102