

辽西肖家营子钼(铁)矿床 Re-Os 年龄及其地质意义

代军治¹⁾, 毛景文¹⁾, 杜安道²⁾, 谢桂青¹⁾, 白杰³⁾, 杨富全¹⁾, 屈文俊²⁾

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037; 2) 国家地质实验测试中心, 北京, 100037;
3) 朝阳新华钼业有限责任公司, 辽宁朝阳, 122304

内容提要:肖家营子矿床是一个与中—基性侵入岩有关的夕卡岩型钼(铁)矿床, 也是中国北方目前已知钼品位最高的矿床。钼、铁矿体主要呈脉状、透镜状、似层状赋存于夕卡岩体中。本文利用 Re-Os 同位素定年方法对主要矿化体中 6 件辉钼矿样品进行了成矿时代研究, 获得等辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为 (165.5 ± 4.6) Ma, 成矿年龄属于中侏罗世晚期, 与燕山运动的中间幕时间一致, 是燕山内陆造山作用的产物。该 Re-Os 定年结果限定了与钼矿床形成密切相关的细粒似斑状闪长岩的成岩年龄应该在 180~160Ma 间, 这不但为华北北缘燕辽钼矿带的研究提供了新的重要证据, 而且对深入研究燕山运动具有重要意义。

关键词:肖家营子; 细粒似斑状闪长岩; 辉钼矿; 成矿年龄

目前世界上已知的钼矿床主要有: 斑岩型、夕卡岩型、热液脉型及沉积型, 其中斑岩型矿床是世界钼矿床的主要类型, 也是钼资源的主要来源, 但夕卡岩型钼矿床在中国具有重要地位, 其数量达到中国已知钼矿床的 38%, 如辽西的杨家杖子钼矿床, 河南栾川的南泥湖—三道庄钼矿床、上房沟钼矿床等等。位于华北板块北缘的肖家营子矿床是一个与中—基性侵入岩有关夕卡岩型钼(铁)矿床, 钼平均品位 0.23%, 金属量 10.5 万吨; 铁平均品位 33.4%, 矿石量 887 万吨, 达到大型钼矿床标准。虽然前人曾对该矿床做过一定的研究, 在矿床地质特征、成矿物化条件及矿床成因等方面取得了许多重要成果(康书泽, 1979; 黄典豪等, 1989, 1996; 敖颖锋等, 2001, 2002; 马建德等, 2002)。但对该矿床的成岩、成矿年龄及其形成的动力学背景方面, 研究不足。尽管黄典豪等(1996)曾测得肖家营子矿床一个辉钼矿样品 Re-Os 模式年龄为 177 Ma, 但这不能完全反映该矿床的成矿年龄, 而且随着 Re-Os 同位素分析方法和质谱技术的革新, 特别是重新厘定¹⁸⁷Re 的衰变常数 λ 值($\lambda = 1.666 \times 10^{-11} / \text{a}^{-1}$), 大大提高了辉钼矿定年的精确度。因此, 为了精确厘定该矿床的成矿年龄, 本文在野外调研的基础上, 利用 Re-Os 同位素体系测定了辉钼矿的年龄, 并对该矿床成矿地质背景进行了初探。

1 区域地质背景

肖家营子钼(铁)矿床大地构造位置处于华北板块北缘内蒙地轴和燕辽褶皱带的北东端, 地理位置位于辽宁西部喀左县境内。区域北部和西部广泛分布有太古界建平群变质杂岩, 主要由黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、变粒岩等组成, 局部夹有磁铁矿石岩; 南部分布有古生界寒武系、奥陶系、石炭系海相碳酸盐及海陆交互相沉积岩, 其上不整合覆盖着中生代火山碎屑沉积岩系; 东部广泛发育中元古界蓟县系雾迷山组燧石条带白云岩和含燧石结核白云岩, 夹角砾状、鲕状和条纹状白云岩。

区内断裂构造发育, 主要有 NNE、NW 向两组断裂。NNE 向断裂以朱力科—中三家断裂为主, 该断裂长 80 km, 宽 50~100 m, 错距达 23 km, 构成了矿区的西部边界, 与其平行的次级断裂主要有水塘沟—肖家营子断裂和三道沟—康杖子断裂。NW 向断裂主要有水塘沟—三道沟断裂和肖家营子—康杖子断裂。在 NNE、NW 向断裂的交汇部位, 侵位有肖家营子中—基性复式岩体, 与钼矿成矿关系密切。

中生代火山、岩浆岩活动频繁, 出露广泛。火山岩以玄武岩、安山岩、火山角砾岩为主, 如蓝旗组火山岩; 侵入岩从超基性—中酸性都有, 但以中酸性为

注: 本文为国土资源大调查项目(编号 1212010634001)资助的成果。

收稿日期: 2007-05-18; 改回日期: 2007-06-28; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 代军治, 男, 1978 年生。在读博士研究生, 矿床学专业, 主要从事金属矿床成因及矿产勘查的研究。

主,一般从早期到晚期,侵入岩由基性向酸性演化,形态多呈岩株状、脉状产出,规模不大,多在 10 km^2 以下。如肖家营子辉长辉绿岩—细粒似斑状闪长岩(图1)岩体呈岩株状产出,出露面积为 0.8 km^2 ,是一个两期侵入的复式岩体,第一期为辉长辉绿岩和中粒闪长岩;第二期为细粒似斑状闪长岩。

辉长辉绿岩,呈灰绿色,似辉绿结构,由斜长石、黑云母、辉石、橄榄石、角闪石和正长石等组成,K-Ar 年龄为 177 Ma (康书泽,1979);中粒闪长岩呈灰色,具自形一半自形柱状结构,局部呈似辉绿结构,矿物成分主要为长石、黑云母、角闪石,含少量石英和单斜辉石;细粒似斑状闪长岩,灰黑色,似斑状结构,斑晶主要为斜长石,呈自形粒状结构,基质粒度为 $0.7 \sim 1.0 \text{ mm}$,K-Ar 年龄为 113 Ma (康书泽,1979)。野外及室内观测表明,3类岩石呈相变过渡关系,3类岩石副矿物都含锆石、磷灰石、榍石,反映了他们系同源岩浆不同演化阶段的产物。

2 矿床地质特征

如前所述,区域性 NNE 向与 NWW 向的断裂交汇部位控制着中—基性肖家营子复式岩体的侵入,在岩体东侧,细粒似斑状闪长岩与雾迷山组燧石条带白云岩的接触部位形成了夕卡岩带。目前已查明钼、铁矿体 80 余条,主要呈不规则的脉状、透镜状

和似层状(图2-A,B),分布于夕卡岩体内(图3),构成夕卡岩型钼、铁矿体;少部分呈细网脉状分布在细粒似斑状闪长岩的边缘(图3),形成细脉浸染型钼矿体。其中夕卡岩型矿体长 $100 \sim 800 \text{ m}$,延深 $100 \sim 600 \text{ m}$,一般厚 $4 \sim 21 \text{ m}$,矿石品位较高, $\text{Mo} = 0.1\% \sim 0.3\%$, $\text{Fe} = 35\% \sim 50\%$;细脉浸染型矿体,延长 400 m ,延深 570 m ,厚 $10 \sim 30 \text{ m}$,矿石品位较低,为 $\text{Mo} = 0.03\% \sim 0.10\%$ (敖颖锋等,2001;马建德等,2002)。

肖家营子矿床夕卡岩水平分带性较明显,自岩体向外依次为:辉长岩—中粗粒闪长岩—细粒似斑状闪长岩—石榴石夕卡岩—石榴石—透辉石夕卡岩—透辉石—镁橄榄石夕卡岩—硅镁石—金云母夕卡岩—夕卡岩化白云岩—白云岩。辉钼矿主要分布于石榴子石夕卡岩和石榴子石—透辉石夕卡岩中;磁铁矿主要赋存于接触带的硅镁石夕卡岩和硅镁石—金云母夕卡岩中,少量辉钼矿、磁铁矿赋存在细粒闪长岩中。肖家营子夕卡岩矿床的这种分带性与陕西木龙沟夕卡岩型铁矿及安徽淮北三铺地区的夕卡岩型金(铜、铁)(赵一鸣等,1982,1999)矿床存在一定相似性,均属于岩浆期后的接触交代产物。

肖家营子钼矿床主要金属矿物是辉钼矿、磁铁矿,其次是黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、斑铜矿等(图2),微量的白钨矿、白铁矿、自然银

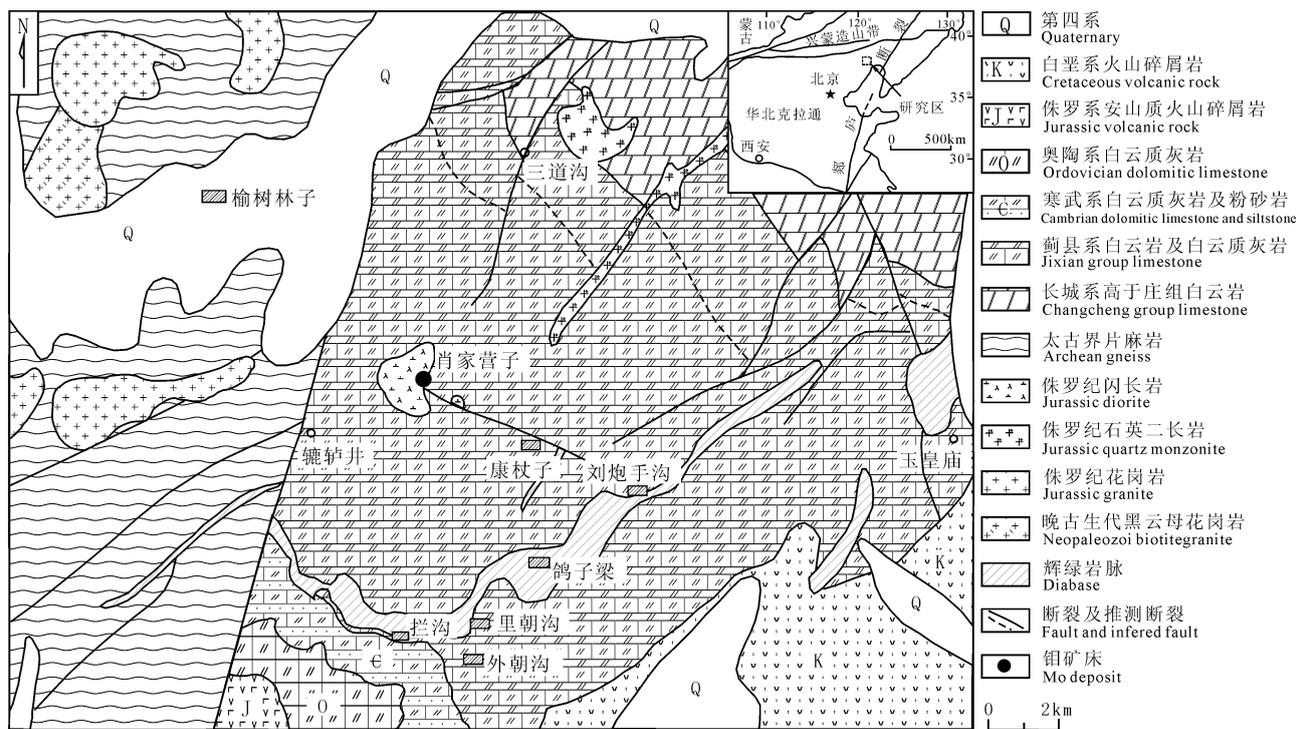


图1 肖家营子矿区地质图

Fig. 1 Geological map of Xiaojiayingzi molybdenum deposit

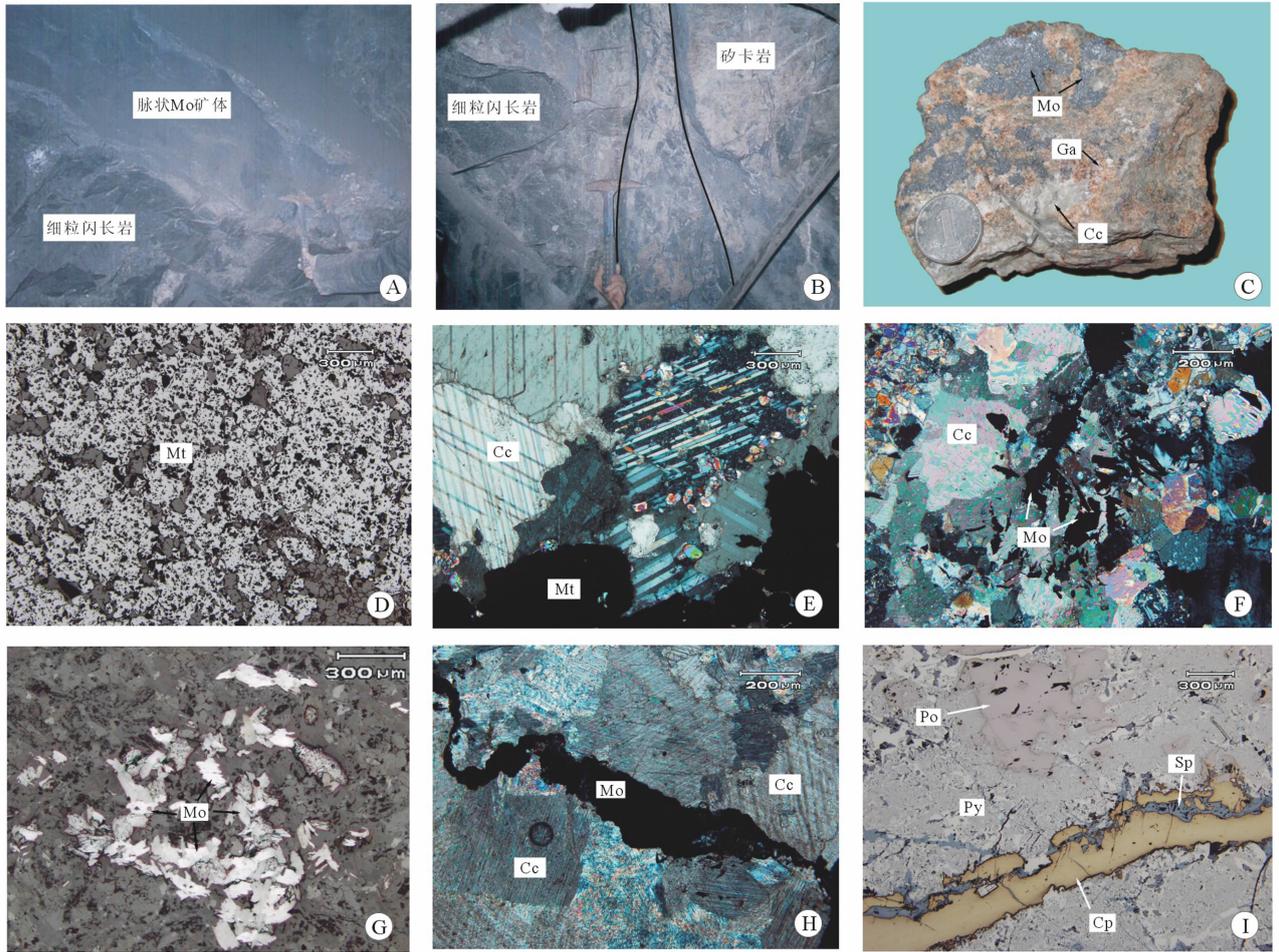


图 2 肖家营子钼(铁)矿床典型矿脉及矿物组合

Fig. 2 Photographs of selected ore veins and hydrothermal mineral assemblages from Xiaojiayingzi deposit

A—脉状矿体; B—透镜状矿体; C—团块浸染状矿石, 辉钼矿(Mo)呈团块浸染状分于石榴子石(Ga)夕卡岩中; D—致密块状磁铁矿(Mt)矿石; E—热液方解石(Cc)交代磁铁矿; F—热液方解石中浸染状辉钼矿(0.05~0.15 mm); G—透辉石夕卡岩中浸染状辉钼矿(0.05~0.3 mm); H—辉钼矿细脉穿切热液方解石脉; I—热液硫化物阶段矿石, 黄铁矿(Py)、黄铜矿(Cp)、磁黄铁矿(Po)、方铅矿(Sp)共生产出

A, B—Vein-type and Lenses-type ore body occurring in the contact zone between fine diorite and skarn; C—Massive disseminated ore, massive molybdenite(Mo) replacing andradite skarn; D—compact block magnetite(Mt) mineralization in diorite skarn; E—Hydrothermal calcite(Cc) replacing magnetite; F—disseminated molybdenite(0.05~0.15 mm) occurring in hydrothermal calcite; G—Leaf shape molybdenite(0.05~0.3 mm) occurring in diorite skarn; H—Molybdenite veinlets cutting across calcite; I—Massive pyrite(Py), chalcopyrite(Cp), pyrrhotite(Po) and sphalerite(Sp) developed in hydrothermal sulfide stage

等。辉钼矿呈自形一半自形板状、叶片状、菊花状、囊状集合体产于夕卡岩中。脉石矿物主要是石榴子石、透辉石、透闪石, 其次是符山石、硅灰石、硅镁石、金云母和方解石等(图 2)。矿石主要呈叶片状结构、自形一半自形粒状结构、交代残余结构; 稠密浸染状构造、条带状构造、团块及块状构造。

与大多数夕卡岩矿床成矿阶段一样, 肖家营子矿床的成矿作用可分为 2 期 4 个阶段(图 4), 即夕卡岩期和热液硫化物期。其中, 夕卡岩期包括早期无矿阶段和磁铁矿化阶段, 热液硫化物期包括辉钼

矿化阶段和铜、铅锌矿化阶段。现分述如下: (1) 早期无矿阶段: 以形成石榴子石、透辉石、镁橄榄石、硅镁石、方柱石、符山石为主, 属于无水夕卡岩阶段, 该阶段后期有少量磁铁矿产出; (2) 磁铁矿化阶段: 主要形成透闪石、阳起石、金云母、绿帘石、磁铁矿及黄铁矿、磁黄铁矿及少量辉钼矿等, 属含水夕卡岩阶段; (3) 辉钼矿化阶段: 主要形成辉钼矿, 并伴随有黄铁矿、黄铜矿等金属硫化物和方解石等脉石矿物; (4) 铜、铅锌矿化阶段: 为成矿晚期阶段, 发生少量的黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿

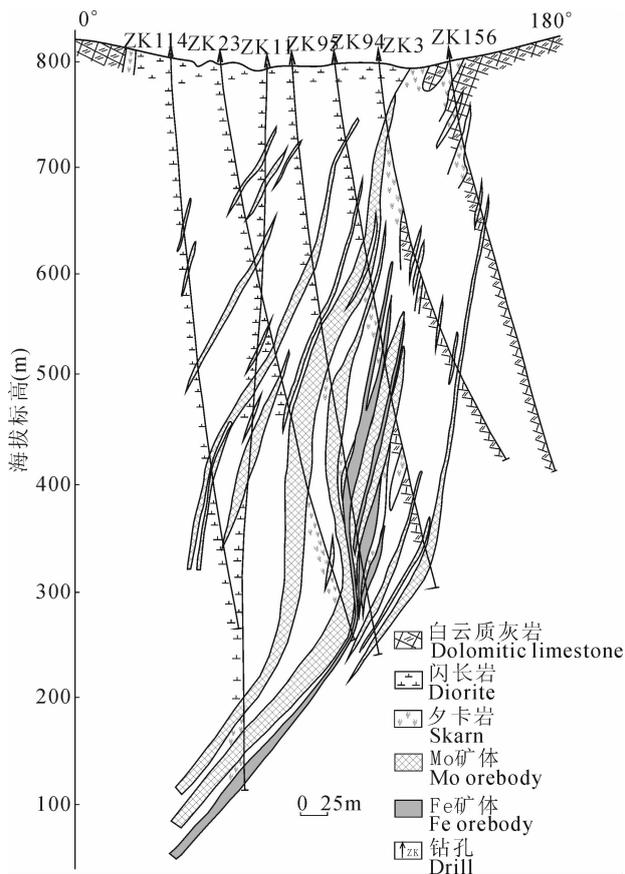


图3 肖家营子钼(铁)矿床120勘探线地质剖面图
(据康书泽等,1979)

Fig. 3 A sketch map showing the section of No. 120 exploration line of Xiaojiayingzi Mo(Fe) deposit (after Kang, 1979)

等矿化现象。后期热液活动常使得辉钼矿沿着夕卡岩裂隙、粒间空隙进行充填—交代并富集成矿。钼矿化主要是继夕卡岩形成之后产生的,并叠加于夕卡岩之上(黄典豪等,1989)。

3 样品描述及测试方法

用于 Re-Os 同位素测年的 6 件样品均采自肖家营子夕卡岩体内,辉钼矿呈浸染状分布于石榴子石夕卡岩、透辉石夕卡岩中。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,每件样品的纯度均大于 99%。辉钼矿颗粒细小,单颗粒 0.05~0.1 mm,可以避免大颗粒辉钼矿中由于 Re 和 Os 的失偶而引起的测年误差(Stein 等,2003;Selby 等,2004)。此外,流体包裹体测得肖家营子矿床成矿期流体温度主要在 200~370℃(代军治等,待刊资料),低于辉钼矿 Re-Os 的封闭温度 500℃(Suzuki

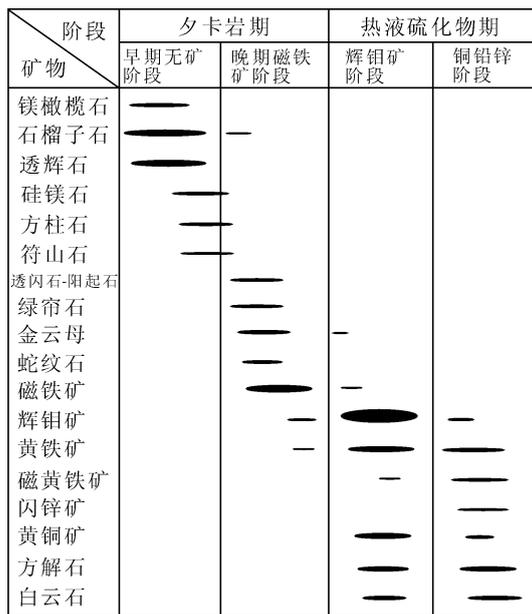


图4 肖家营子钼(铁)矿床矿物生成序列

Fig. 4 Paragenetic sequence of ore minerals and associated silicates/oxides/carbonates

et al., 1996),可以保证测年的准确性。辉钼矿样品 Re-Os 同位素测试工作在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素实验室完成的。分析方法及程序详见 Shirey 等(1995),Du 等(2004)。现简述如下:

准确称取待分析样品,将其放入 Carius 管(一种高硼厚壁大玻璃安瓿瓶)中进行分解,用¹⁸⁵Re 和¹⁹⁰Os 混合剂对样品进行稀释,在 HCl-HNO₃-H₂O₂ 溶液中使之平衡后,把 Carius 管细颈部分封闭,对其加热至 230℃,恒温 12 小时。样品中 Os 的分离在蒸馏瓶中进行,首先将 Carius 管中的溶液转入蒸馏瓶中,使之加热 50 分钟,并用水吸收蒸出的 OsO₄;样品中 Re 的萃取在 Teflon 烧杯中进行,蒸馏残液倒入 Teflon 烧杯中,通过阳离子交换萃取溶液中的 Re。

Re、Os 同位素的测定均采用美国 TJA 公司生产的 TJA X-series ICP-MS 仪测定同位素比值。对于 Re 的测定,选择质量数 185、187,用¹⁹⁰Os 监测 Os。对于 Os 的测定,选择质量数为 186、187、188、189、190、192,用¹⁸⁵Re 监测 Re。测试中 Re、Os 和¹⁸⁷Os 的空白水平分别为(0.0713±0.00112)ng、(0.02227±0.00018)ng、(0.00166±0.00002)ng。为了保证测试结果的可靠性,同时对实验标准物质 GBW04435(HLP)中的 Re 和 Os 进行了测定。测试结果见表 1。

表 1 肖家营子钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果

Table 1 Analysis result of Re-Os isotopic of molybdenite from Xiaojiayingzi molybdenum deposit

样品	分布	重量(g)	Re($\mu\text{g/g}$)		C 普 Os (ng/g)		^{187}Re ($\mu\text{g/g}$)		^{187}Os (ng/g)		模式年龄(Ma)	
			测量值	2σ	测量值	2σ	测量值	2σ	测量值	2σ	测量值	2σ
XJ13-1	石榴子石夕卡岩中	0.0104	37.92	0.62	0.018	0.014	23.83	0.39	63.93	0.47	160.8	3.2
XJ13-2	石榴子石夕卡岩中	0.0105	37.08	0.38	0.009	0.005	23.31	0.24	62.90	0.47	161.8	2.5
XJ5	石榴子石夕卡岩中	0.0109	83.74	1.07	0.004	0.004	52.64	0.67	141.00	1.10	160.6	2.8
XJ11	透辉石夕卡岩中	0.0107	42.39	0.50	0.006	0.004	26.64	0.32	70.72	0.54	159.1	2.6
XJ15	石榴子石夕卡岩中	0.0097	21.75	0.26	0.009	0.010	13.67	0.16	36.57	0.28	160.4	2.6
XJ1	透辉石夕卡岩中	0.0501	162.95	2.13	0.0114	0.0001	102.42	1.34	283.2	2.10	165.8	2.8
HLP(标样)		0.0106	285.57	2.62					660.7	5.10	220.6	3.1
GBW04435(标样)			283.8	6.20					659.0	14	221.4	5.6

注: 计算模式年龄不确定度为 1.02%, 置信水平 95%; 计算公式: $t = [\ln(1 + ^{187}\text{Os}/^{187}\text{Re})] / \lambda$, 式中 $\lambda(^{187}\text{Re}) = 1.666 \times 10^{-11} / \text{a}^{-1}$ (Smoliar et al., 1996)。

4 测定结果

由表 1 可以看出, 6 件辉钼矿样品获得近似相等的 Re-Os 模式年龄值 (159.1 ± 2.6) Ma ~ (165.8 ± 2.8) Ma, 加权平均年龄为 (161.3 ± 2.4) Ma, 尽管有一个样品年龄值略大, 为 (165.8 ± 2.8) Ma, 但总体比较接近。采用 ISOPLOT 软件 (Ludwig, 2001) 对获得的 6 个数据进行等时线计算, 得到等时线年龄为 (165.5 ± 4.6) Ma (2 σ), MSWD = 3.2, 初始 ^{187}Os 为 -2.0 ± 2.8 (图 5)。所得到的等时线年龄与模式年龄加权平均值非常接近。

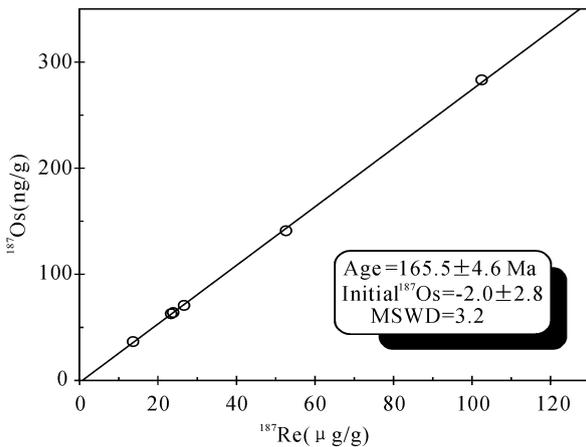


图 5 肖家营子钼(铁)矿床辉钼矿 Re-Os 同位素等时线图
Fig. 5 Re-Os isotopic isochron diagram of molybdenite from Xiaojiayingzi Mo(Fe) deposit

5 讨论及结论

5.1 辉钼矿中 Re 的含量

Re 是一种中度不相容的亲铜、亲铁元素, 主要富集于地幔中。Re 的地球化学行为与 Mo 相似, 在

辉钼矿中能达到最大富集程度, 辉钼矿中 Re 的含量可以从痕量到 1.88%。目前, 关于辉钼矿中 Re 的含量, 尚处于争论的过程中: ① 早期的许多学者认为, Re 的含量与辉钼矿的多型性 (3R 或 2H) 和蚀变矿物组合有关 (Ayres, 1974; Newberry, 1979), 但这已被 Selby 等 (2001)、Peng 等 (2006) 的研究结果予以否定; ② Ishihara (1988) 研究表明, 辉钼矿中 Re 的含量与花岗岩的形成深度和温度有关, 一般随着温度的降低和深度的减小, 辉钼矿中 Re 含量呈现增加的趋势; ③ Bernard 等 (1990) 提出, 成矿体系氧逸度的增高会影响 Mo 和 Re 在挥发相中分离; ④ 近年来, 有些学者还提出斑岩型 Cu(Mo) 矿床含矿热液中的 F 和 Cl 的含量会控制 Re 的富集, 体系中较高的 F 和 Cl 含量会降低 Mo 络合物的迁移能力, 引起 Mo 和 Re 富集 (Selby et al., 2001; Hou et al., 2006), 但这似乎与富 F 的斑岩型钼矿不符合, 如陕西金堆城和冀北撒岱沟门钼矿床均为富 F 的斑岩型钼矿床, 而两者辉钼矿中 Re 的含量仅为 $12.9 \times 10^{-6} \sim 19.7 \times 10^{-6}$ (黄典豪等, 1994) 和 $4.4 \times 10^{-6} \sim 4.7 \times 10^{-6}$ (段焕春等, 待刊资料)。

肖家营子辉钼矿中 Re 含量为 $21.75 \times 10^{-6} \sim 162.95 \times 10^{-6}$, 变化较大, 可能与成矿温度有关。成矿早期夕卡岩阶段, 成矿流体温度基本 $> 500^\circ\text{C}$, 热液硫化物阶段流体温集中在 $200^\circ\text{C} \sim 370^\circ\text{C}$ (代军治等, 待刊资料), 从早期到晚期, 成矿流体温度逐渐降低, 对 Re 的富集产生了重要作用。此外, 含矿体系氧逸度的高低对 Re 的富集也产生了一定影响, 含矿体系氧逸度的升高, 使得硫化物不稳定, 释放出较多的 Re, 这一点可以从矿床中发育大量的磁铁矿得到证实。

肖家营子辉钼矿中 Re 含量平均为 $64.31 \times$

10^{-6} ,与壳源或壳幔混合有关的斑岩型钼矿床 Endako、Climax、Henderson、金堆城(黄典豪等, 1994; Mao et al., 1999; Selby et al., 2001)相比,辉钼矿中 Re 含量偏高,这几个钼矿床的 Re 含量分别为 26.3×10^{-6} 、 8×10^{-6} 、 8.3×10^{-6} 、 16.1×10^{-6} ; 但同幔源有关的黄龙铺碳酸盐脉型钼矿床中辉钼矿的 Re 含量 342×10^{-6} (黄典豪等, 1994; Mao et al., 1999; Selby et al., 2001)相比明显偏低。肖家营子钼矿床中的 Re 含量介于两者之间,表明该矿床的形成可能与老基底重熔或壳源混合有关。

5.2 成岩、成矿时代及其动力学背景

肖家营子矿床是一个与闪长岩和辉长辉绿岩有关的夕卡岩型钼(铁)矿床,矿体主要赋存于闪长岩与白云质灰岩接触部位的夕卡岩体内。本次测得 6 件辉钼矿样品的 Re-Os 模式年龄为 $(159.1 \pm 2.6) \text{Ma}$ ~ $(165.8 \pm 2.8) \text{Ma}$,等时线年龄为 $(165.5 \pm 4.6) \text{Ma}$,两者近似相等,可代表成矿的真实年龄。康书泽(1979)利用 K-Ar 法测得赋矿细粒闪长岩的年龄为 113 Ma,辉长辉绿岩为 177 Ma。这与辉钼矿的 Re-Os 年龄相差甚远,究其原因,可能是由于细粒闪长岩遭受后期热液蚀变的影响。野外和室内研究表明,辉长辉绿岩与细粒闪长岩呈相变过渡关系,细粒闪长岩遭受了强烈的磁铁矿矿化,使得 K-Ar 法定年所要求的封闭体系遭受破坏,从而导致 K-Ar 测年值变小。因此,推测肖家营子细粒闪长岩成岩年龄应该在 180~160 Ma 之间。肖家营子矿床成岩与成矿时代属于侏罗纪中期。

侏罗纪是华北板块北缘中段燕山地区地壳运动和内陆造山运动的重要时期,构造、岩浆活动广泛、强烈,并伴随有大量的有色及贵金属矿床的形成。按照程裕淇等(1994)、赵越等(2004)的观点,可将燕山运动分为三期,即:A幕(205~160 Ma)、B幕(156~135 Ma)和中间幕(165~156 Ma)。A幕以髻髻山组安山岩之下的角度不整合为标志,B幕以褶皱和强烈的逆冲推覆作用为主,中间幕以强烈的火山喷发和花岗岩侵入为特征(翁文灏,1929;赵越等,2004)。

肖家营子钼矿床辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为 $(165.5 \pm 4.6) \text{Ma}$,成岩年龄为 180~160 Ma,在形成时代上与蓝旗组火山岩、髻髻山组火山岩成岩年龄一致。牛宝贵等(2003)利用高分辨率离子探针技术获得髻髻山组火山岩中锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 $(163.2 \pm 5.9) \text{Ma}$; Davis 等(2001)测得髻髻山组安山岩偏下部的黑云母 $^{39} \text{Ar}$ - $^{40} \text{Ar}$ 年龄为 $(161 \pm 1) \text{Ma}$ 。他们都是燕山运动 A 幕晚期或中间幕时

期强烈的火山—岩浆作用的产物。李伍平等(2001)研究认为,蓝旗组火山岩具高 Sr 低 Y 特征,是中侏罗世玄武质岩浆底侵熔融太古代基底而成。来自地幔深处的玄武质岩浆在上侵的过程中,一方面使得古老的基底岩石发生部分熔融,产生较基性的火山岩石和侵入岩石,如蓝旗组火山岩、髻髻山组火山岩及肖家营子辉长辉绿岩—闪长岩,另一方面,玄武质岩浆所带来的大量热能使得大范围内岩石,特别是古老结晶基底的岩石中的硫化物不稳定而发生分解,将其中的钼等金属释放到熔体中,形成成矿流体,并在有利的部位沉淀、富集成矿。

致谢:野外工作期间得到了辽宁朝阳地质勘察院张志伟总工,朝阳新华钼业有限责任公司李长龙总经理、刘宗云主任等同志的大力帮助,在此一并表示谢意。

参 考 文 献

- 敖颖锋,国铁成,袁国平. 2001. 肖家营子斑岩体地质特征及找矿标志. 矿产与地质,15(4):233~237.
- 敖颖锋,袁国平,国铁成. 2002. 肖家营子钼多金属矿床围岩蚀变及矿化特征. 矿产与地质,16(2):78~81.
- 程裕淇. 1994. 中国区域地质概论. 北京:地质出版社,1~517.
- 黄典豪,董群英,甘志贤. 1989. 中国钼矿床. 见:宋叔和主编. 中国矿床,上册,第八章. 北京:地质出版社,493~536.
- 黄典豪,杜安道,吴澄宇,刘兰笙,孙亚莉,邹晓秋. 1996. 华北地台钼(铜)矿床—钼年龄及其地质意义. 矿床地质,15(4):289~297.
- 黄典豪,吴澄宇,杜安道,何红蓼. 1994. 东秦岭地区钼矿床的钼—钼同位素年龄及其意义. 矿床地质,13(3):221~230.
- 康书泽. 1979. 辽宁省喀左县肖家营子钼多金属矿床第一期地质勘探报告. 朝阳:辽宁朝阳地质勘察院,24~38.
- 李伍平,李献华,路凤香. 2001. 辽西中侏罗世高 Sr 低 Y 型火山岩的成因及其地质意义. 岩石学报,17(4):523~532.
- 马建德,徐天波,敖颖峰,李祥才,张志伟,国铁成. 2002. 辽宁肖家营子钼多金属矿床地质特征及成因. 桂林工学院学报,22(1):5~10.
- 牛宝贵,和政军,宋彪,任纪舜. 2003. 张家口组火山岩 SHRIMP 定年及其重大意义. 地质通报,22(2):140~141.
- 翁文灏. 1929. 中国东部中生代造山运动. 地质通报,8:33~44.
- 赵越,张拴宏,徐刚,杨振宇,胡健民. 2004. 燕山板内变形带侏罗纪主要构造事件. 地质通报,23(9~10):854~863.
- 赵一鸣,吴家善,韩发,罗镇宽. 1982. 陕西洛南地区镁夕卡岩型钼矿床的矿化蚀变特征和找矿标志. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊,1:29~50.
- 赵一鸣,张铁男,毕承思,唐开健,孙庆安. 1999. 安徽淮北三铺地区镁夕卡岩金(铜、铁)矿床生成地质环境、分带和流体演化. 矿床地质,18(1):1~10.
- Ayres D. 1974. Distribution and occurrence of some naturally occurring polytypes of molybdenite in Australia and Papua New Guinea. J Geol Soc Aust 21: 273~278.
- Bernard A, Symonds R S and Rose W I. 1990. Volatile transport and deposition of Mo, W and Re in high temperature magmatic fluids. Appl Geochem, 5: 317~326.

- Davis G A, Zheng Y D, Wang C, Darby B J, Zhang C and Gehrels G E. 2001. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning provinces, northern China. *Geological Society of America Memoir*, 194: 171~197.
- Du A D, Wu S Q, Sun D Z, Wang S X, Qu W J, Stein H J, Morgan J and Malinovskiy D. 2004. Preparation and Certification of Re-Os Dating Reference Materials; Molybdenite HLP and JDC. *Geostandard and Geoanalytical Research*, 28 (1): 41~52.
- Hou Z Q, Zeng P S, Gao Y F, Du A D, Fu D M. 2006. Himalayan Cu Mo Au mineralization in the eastern Indo Asian collision zone: constraints from Re-Os dating of molybdenite. *Mineralium Deposita*, 41: 33~45.
- Ishihara S. 1988. Rhenium contents of molybdenites in granitoidseries rocks in Japan. *Economic Geology*, 83: 1047~1051.
- Li W P, Li X H and Lu F X. 2001. Genesis and geological significance for the middle Jurassic high Sr and low Y type volcanic rocks in Fuxin area of west Liaoning, northeastern China. *Acta Petroloica Sinica*, 17(4): 523~532.
- Ludwig K. 2001. Isoplot/Ex, version 3.0; a geochronological tool kit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronology Center Special Publication, Berkeley, 43.
- Mao J W, Zhang Z C, Zhang Z H, 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. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 63(11-12): 1815~1818.
- Newberry R J. 1979. Ploitypism in molybdenite (II): relationships between polytypism, ore deposition/alteration stages and rhenium contents. *Am. Mineral*, 64: 768~775.
- Peng J T, Zhou M F, Hu R Z, Shen N P, Yuan S D, Bi X W, Du A D and Qu W J. 2006. Precise molybdenite Re-Os and mica Ar Ar dating of the Mesozoic Yaogangxian tungsten deposit, central Nanling district, South China. *Mineralium Deposita*, 41: 661~669.
- Selby D and Creaser R A. 2001. Re-Os geochronology and systematics in molybdenite from the Endako porphyry molybdenum deposit, British Columbia, Canada. *Economic Geology*, 196: 197~204.
- Selby D and Creaser R A. 2004. 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. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68 (19): 3897~3908.
- Shirey S B and Walker R J. 1995. Carius tube digestion for low-blank rhenium- osmium analysis. *Anal. Chem.*, 67: 2136~2141.
- Smoliar M I, Walker R J, Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group IIA, IIIB, IVA, IVB iron meteorites. *Science*, 271: 1099~1102.
- Stein H J, Scherst n A, Hannah J and Markey R. 2003. Subgrain-scale decoupling of Re and ¹⁸⁷Os and assessment of laser ablation ICP-MS spot dating in molybdenite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67(19): 3673~3686.
- Suzuki K, Shimizu H, Masuda A. 1996. Re-Os dating of molybdenite from ore deposits in Japan: implication for the closure temperature of the Re-Os system for molybdenite and cooling history of molybdenite ore deposits. *Geochim Cosmochim Acta* 60: 3151~3159.
- Zhao Y M, Zhang Y N, Bi C S, Tang K J, Sun Q A. 1999. The metallogenic geological setting, zonation and fluid evolution of the Au(Cu,Fe) magnesian skarn deposits in Sanpu area, Anhui province. *Mineral Deposits*, 18(1): 1~10.

Re-Os Dating of Molybdenite from the Xiaojiayingzi Mo(Fe) Deposit in Western Liaoning and Its Geological Significance

DAI Junzhi¹⁾, MAO Jingwen¹⁾, DU Andao²⁾, XIE Guiqing¹⁾, BAI Jie³⁾, YANG Fuquan¹⁾, QU Wenjun²⁾

1) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*; 2) *National Research Center of Geoanalysis, Beijing, 100037*; 3) *Xinhua Molybdenum Group Co., L T D, Chaoyang, Liaoning, 122304*

Abstract

Xiaojiayingzi deposit Located in western Liaoning province is a skarn-type Mo(Fe) deposit, which associates with intermediate-mafic intrusions and is the highest grade Mo deposit in north China. Mo(Fe) mineralization occurs mainly as veins, lense, bed-like in skarn. Molybdenite Re-Os dating better understanding to the mineralization time. Re-Os dating of six molybdenite separate from the major Mo mineralized bodies gives an isochron age of (165.5 ± 4.6) Ma and model ages ranges from 159.1 to 165.8 Ma. This age is in good agreement with the intermediate phase of Yanshan movement and reflects the results of the intraplate orogeny process of the Yanshan region. The Re-Os isochrom age represents the ore-forming time of the Mo(Fe) mineralization and constrains the ages of fine porphyroid diorite ranging from 160 to 180 Ma. This result not only provides a new proof for studying molybdenum deposits in Yanshan-Liaoning Mo metallogenic belt on the northern margin of the North China block, but also has an important significance for discussing Yanshan movement in this region.

Key words: Xiaojiayingzi; fine porphyroid diorite; molybdenite; metallogenic age