

河北省青龙满族自治县四拨子—六拨子钼铜矿床的辉钼矿 Re-Os 年龄及意义

李 强¹ 孟祥元² 杨富全¹ 武 峰²
王立生² 胡华斌³ 刘 锋¹ 张志欣⁴

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 河北省地勘局第五地质大队, 河北 唐山 063004; 3. 石家庄经济学院, 河北 石家庄 050031; 4. 中国科学院新疆生态与地理研究所 新疆矿产资源研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:河北省青龙满族自治县四拨子—六拨子钼铜矿位于燕辽成矿带东部, 是近年来发现的中型钼铜矿床。辉钼矿呈细脉状、网脉状、浸染状赋存于长城系石英砂岩及白云岩中的矽卡岩带, 钼矿化与硅化关系密切。矿体呈似层状、脉状和透镜状。对矿石中辉钼矿 Re-Os 同位素年代学进行了研究, 7 件样品的 Re-Os 同位素模式年龄为 $(191.6 \pm 2.7) \text{Ma}$ ~ $(196.0 \pm 2.9) \text{Ma}$, 加权平均值为 $(194 \pm 1) \text{Ma}$, 2 件样品的模式年龄值为 $(121.1 \pm 1.8) \text{Ma}$ ~ $(125.9 \pm 1.9) \text{Ma}$ 。四拨子—六拨子矿区的主成矿时代为早侏罗世早期 (196~192 Ma), 钼成矿作用与老商家花岗斑岩和五拨子花岗斑岩 (196~190 Ma) 的侵入活动有关。矿区存在的早白垩世末 (121~126 Ma) 钼成矿作用为目前燕辽地区最晚的。辉钼矿样品的 Re 含量变化于 $6.475 \sim 6.923 \mu\text{g/g}$ 和 $38.74 \sim 71.358 \mu\text{g/g}$, 指示钼铜成矿物质有壳幔混源的特征。

关键词: Re-Os 年龄; 侏罗纪; 白垩纪; 钼铜矿床; 四拨子—六拨子

中图分类号: P597; P618.65; P618.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2012)06-1622-13

燕辽钼矿带西起内蒙古四子王旗、白乃庙, 东至辽宁锦州—北票一线, 位于华北板块、西伯利亚板块及太平洋板块的接合部位, 是继东秦岭钼矿带之后中国第二大钼矿带^[1-4]。燕辽钼矿带包括斑岩型、斑岩-矽卡岩型、矽卡岩型和热液脉型等矿床类型在内的 20 余处钼(铜)矿床(点)。前人的研究表明燕辽钼矿带钼矿床成矿作用主要分为 3 期, 分别为 230 Ma 左右、180 Ma 左右和 140 Ma 左右, 主要为燕山期成矿, 早白垩世的钼矿床成矿事件较弱^[3,5-7]。这与国外钼矿成矿时代有一定差别 (一般在 25~70 Ma, 如美国的 Climax、加拿大的 Kitsault、格陵兰的 Malmbjerg 等)^[8]。河北青龙满族自治县四拨子—六拨子钼铜矿位于燕辽成矿带东部, 为近年来新发现的一个中型钼铜矿床^[9], 作者曾对矿区侵入岩的年

代学、矿石中石英、透辉石、透闪石、绿帘石中的流体包裹体, 石英中氢氧同位素和硫化物的硫同位素进行了系统的研究^[10,11], 但详细的研究工作比较薄弱。本文在野外系统地质调查和钻孔岩心观察的基础上, 对 ZK601 和 ZK1202 岩心中辉钼矿石英脉中辉钼矿进行了 Re-Os 同位素年代测定, 并探讨了成矿意义, 为深入研究燕辽成矿带成矿规律提供了依据。

1 矿床地质特征

四拨子—六拨子钼铜矿位于河北省青龙满族自治县县城西南约 30 km 处, 所处大地构造位置为华北板块北缘燕山造山带东部。区域出露地层主要为太古宇迁西群、单塔子群, 中新元古界长城系、蓟县系、青白口系, 古生界寒武系, 中生界髻髻山组、后城

收稿日期: 2012-11-09; 改回日期: 2012-11-20

基金项目: 资源补偿费项目(200702)和中国地质调查局地质大调查项目(1212011220492)项目资助。

作者简介: 李强, 男, 1987 年生, 硕士生, 矿产学专业; E-mail: liqiang200620062@yahoo.com.cn。

通讯作者: 杨富全, 男, 1968 年生, 博士生导师, 研究员, 从事矿床地质、地球化学研究; E-mail: fuquanyang@163.com。

组及新生界第四系。区域构造和岩浆活动强烈,侵入岩发育,岩性主要为斑状花岗岩、中细粒花岗岩、石英斑岩等。矿区出露地层主要为中元古界长城系高于庄组及大红峪组(图 1),其次为迁西群,为角闪斜长片麻岩,出露于矿区西南部二拨子背斜核部及四拨子西沟。大红峪组以碎屑岩为主,第一段岩性为石英砂岩,第二段岩性为互层状细砂岩与粉砂岩,主要出露于二拨子背斜核部,四拨子背斜南翼,走向大致为北西向。高于庄组以碳酸盐岩为主,第一段岩性组合为燧石结核、燧石条带白云岩及泥晶白云岩;第二段岩性组合为含锰砂岩及粉砂岩;第三段岩性组合为含燧石泥质白云岩、白云岩及大理岩化白云岩,分布于 F₆ 断层北部、三拨子向斜核部、两翼及 F₇ 断层南侧,与大红峪组地层呈整合接触。矿区侵入岩发育,存在四期岩浆侵入活动:第一期为晚三叠世(211~206 Ma),形成六柱坪和三拨子西沟细粒似斑状二长花岗岩;第二期为早侏罗世早期(196~190 Ma),形成老商家和五拨子花岗斑岩;第三期为早侏罗世晚期(177 Ma),形成达子沟细粒似斑状二长花岗岩;第四期为晚侏罗世早期(160 Ma),形成七拨子粗中粒二长花岗岩^[4]。

四拨子—六拨子矿区铜矿化主要出现于地表,而钼矿化出现于深部,目前研究表明地表铜矿化与深部钼矿化没有必然联系。地表共发现 5 条矽卡岩蚀变带,主要为透闪透辉矽卡岩蚀变,分布于沟窝棚—达子沟地段,蚀变带大体相互平行排列,最大延伸 1600 余米,宽 0.5~20 m。矽卡岩蚀变带内赋存铜多金属矿体 13 个,矿体多呈透镜状断续分布于矽卡岩蚀变带内,一般长 22~128 m,最大矿体长 400 m,平均厚度为 1.37m。深部钼矿化带长约 2000 余米,宽 100 余米,目前已圈定 60 条钼矿体。深部主要分为 3 个钼矿化密集带(I、II、III号)。钼矿体赋存于大红峪组石英砂岩、长石石英砂岩及白云岩夹层与高于庄组的白云岩中的矽卡岩蚀变带中,矿体与围岩呈渐变过渡关系。II号带为主矿化带,厚 0.5~25 m。矿体由沿层理及不同方向纵横交错的细网脉组成的矿脉群构成。单个钼矿体主要呈似层状、透镜体和脉状产出。单个矿体一般长 100~300 m,规模较大的长 400~1300 m,平均厚度 1.85 m。其中 3 号矿体规模最大,长 1300 m,平均厚度 0.97 m(图 2)。

地表铜多金属矿石为浸染状、斑杂状、团块状、细脉状,他形粒状、针状结构。主要金属矿物为黄铜

矿、黄铁矿、辉钼矿、磁铁矿、闪锌矿、磁黄铁矿,铜兰、孔雀石、褐铁矿,主要非金属矿物为透辉石,其次透闪石,少量粒硅镁石、白云母、绿泥石等。矿石中铜平均品位 0.95%,银平均品位 $48.85 \times 10^{-6}\%$ 。

钼矿石具有浸染状、脉状、网脉状、薄膜状、团块状、角砾状构造和晶洞状构造;他形粒状结构、自形粒状结构、半自形—他形粒状结构、交代残余结构、鳞片结构。金属矿物主要为辉钼矿、黄铁矿,其次为黄铜矿、磁铁矿,含少量磁黄铁矿、斑铜矿、方铅矿、闪锌矿等;非金属矿物主要为石英、透辉石、透闪石、白云石,少量绿泥石、绿帘石、方解石、蛇纹石、符山石、石榴石。钼品位变化于 0.038%~0.5%^[9]。

矿区围岩蚀变发育,主要有矽卡岩化、硅化,少量钾长石化、碳酸盐化、绢云母化、粘土化。矽卡岩矿物主要为透辉石、透闪石、绿帘石,其次是蛇纹石、绿泥石、符山石、角闪石,少量石榴石,矽卡岩矿物分带性较差。地表岩石蚀变多为矽卡岩化,而深部岩石则表现为硅化和矽卡岩化,辉钼矿可以伴随硅化形成含辉钼矿石英脉,该矿化类型最为常见,可以沿裂隙构造直接充填成辉钼矿脉体或薄膜,也可沿矽卡岩化较发育的构造附近分布呈细脉状。矿化蚀变作用可分为 3 个阶段:(1)早期矽卡岩阶段:主要形成透辉石和符山石,局部有石榴石;(2)退化蚀变阶段:主要形成绿帘石、透闪石,少量角闪石和绿泥石,伴随形成半自形—他形粒状、浸染状分布的磁铁矿;(3)石英—硫化物阶段:以形成大量石英硫化物为特征,辉钼矿呈细脉状、网脉状、浸染状、薄膜状与黄铁矿、黄铜矿共生。该阶段是钼主要成矿阶段。除辉钼矿、黄铁矿和黄铜矿外,还有少量方铅矿、斑铜矿、磁黄铁矿等金属矿物。

结合矿床地质特征、围岩蚀变、矿化类型,判定四拨子—六拨子钼铜矿成因类型为矽卡岩型。

2 样品与测试方法

辉钼矿 Re-Os 体系形成后很难被后期地质过程重置^[2],可精确限定成矿时代,目前被广泛应用。因此利用 Re-Os 同位素测年法测定辉钼矿单矿物的形成时代也即代表了本矿床的成矿时代。本次测定的 9 件辉钼矿样品采自 ZK601 和 ZK1202 的岩心,均为含黄铁矿辉钼矿石英脉、辉钼矿石英脉和辉钼矿细脉(表 1)。辉钼矿多呈鳞片状集合体与石英脉共生或沿裂隙面分布,局部地段与黄铁矿呈共生

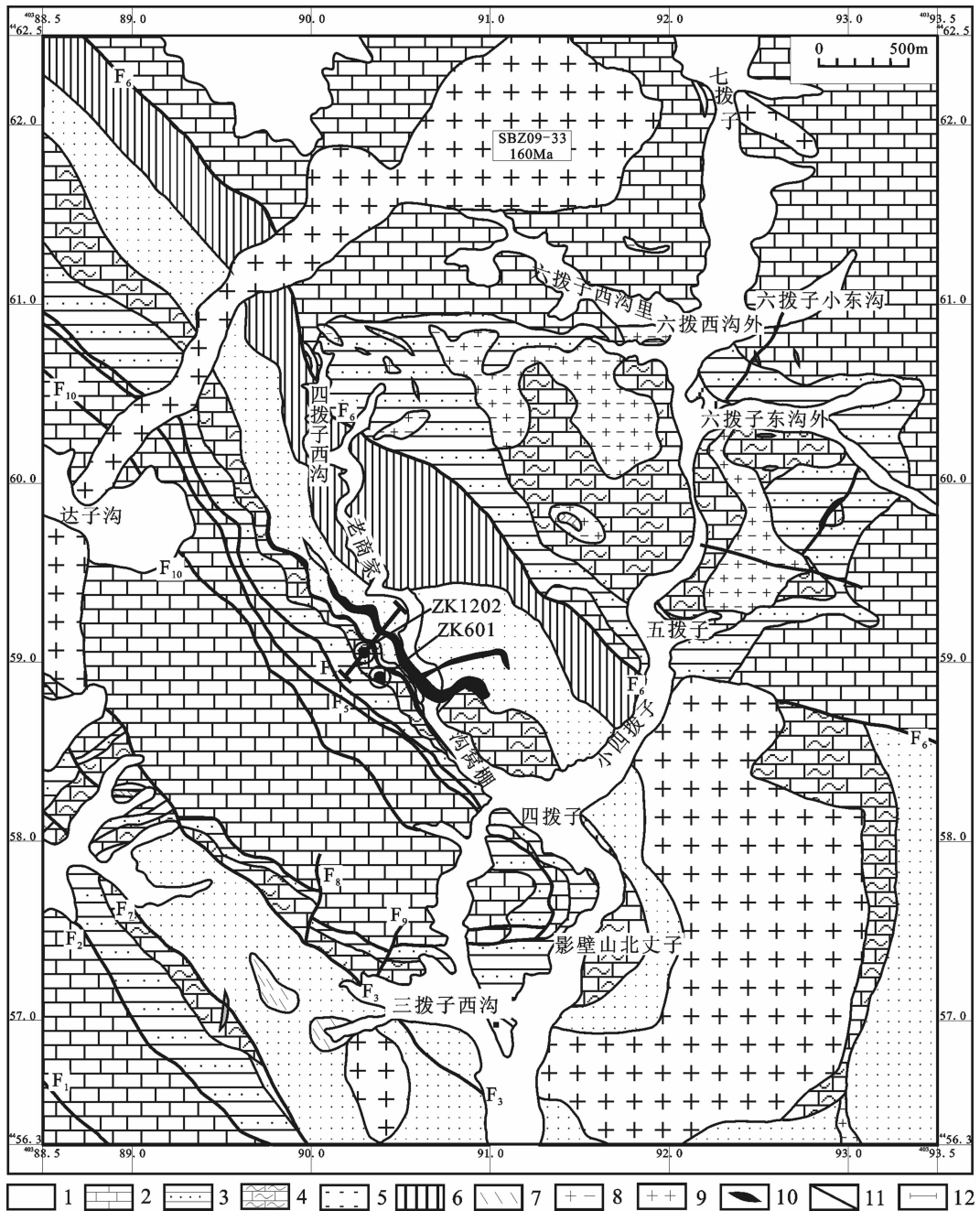


图1 四拨子—六拨子铜矿矿区地质略图(据河北省地矿局第五地质大队,2008 修改)

- 1—第四系洪积物;2—长城系高于庄组三段大理岩化白云岩、含燧石泥质白云岩、白云岩;
- 3—长城系高于庄组二段含锰砂岩、粉砂岩互层;4—长城系高于庄组一段燧石结核、燧石条带白云岩、泥晶白云岩;5—长城系大红峪组二段细砂岩、粉砂岩;6—长城系大红峪组一段石英砂岩;7—迁西群角闪斜长片麻岩;8—花岗斑岩;9—二长花岗岩;
- 10—矿化范围;11—断层及编号;12—图2剖面图

Fig.1 Geological map of the Sibozhi-Liubozhi Mo-Cu deposit (modified after No.5 Geological Party of Hebei Bureau of Geology, 2008)

- 1—Quaternary proluvium; 2—Marblized? dolomite, argillaceous dolomite with chert and dolomite of 3rd Member of Gaoyuzhuang Formation, Changcheng System; 3—Mn-bearing sandstone and siltstone of 2nd Member of Gaoyuzhuang Formation, Changcheng System; 4—Dolomite with nodular chert, zebra dolomite and dolomicrite of 1st Member of Gaoyuzhuang Formation, Changcheng System; 5—Fine sandstone and siltstone of 2nd Member of Dahongyu Formation, Changcheng System; 6—Quartz sandstone of 1st Member of Dahongyu Formation, Changcheng System; 7—Amphibole-plagioclase-gneisses of Qianxi Group; 8—Granite-porphry; 9—Monzogranite; 10—Mineralization area; 11—Fault and its serial number; 12—Fig.2

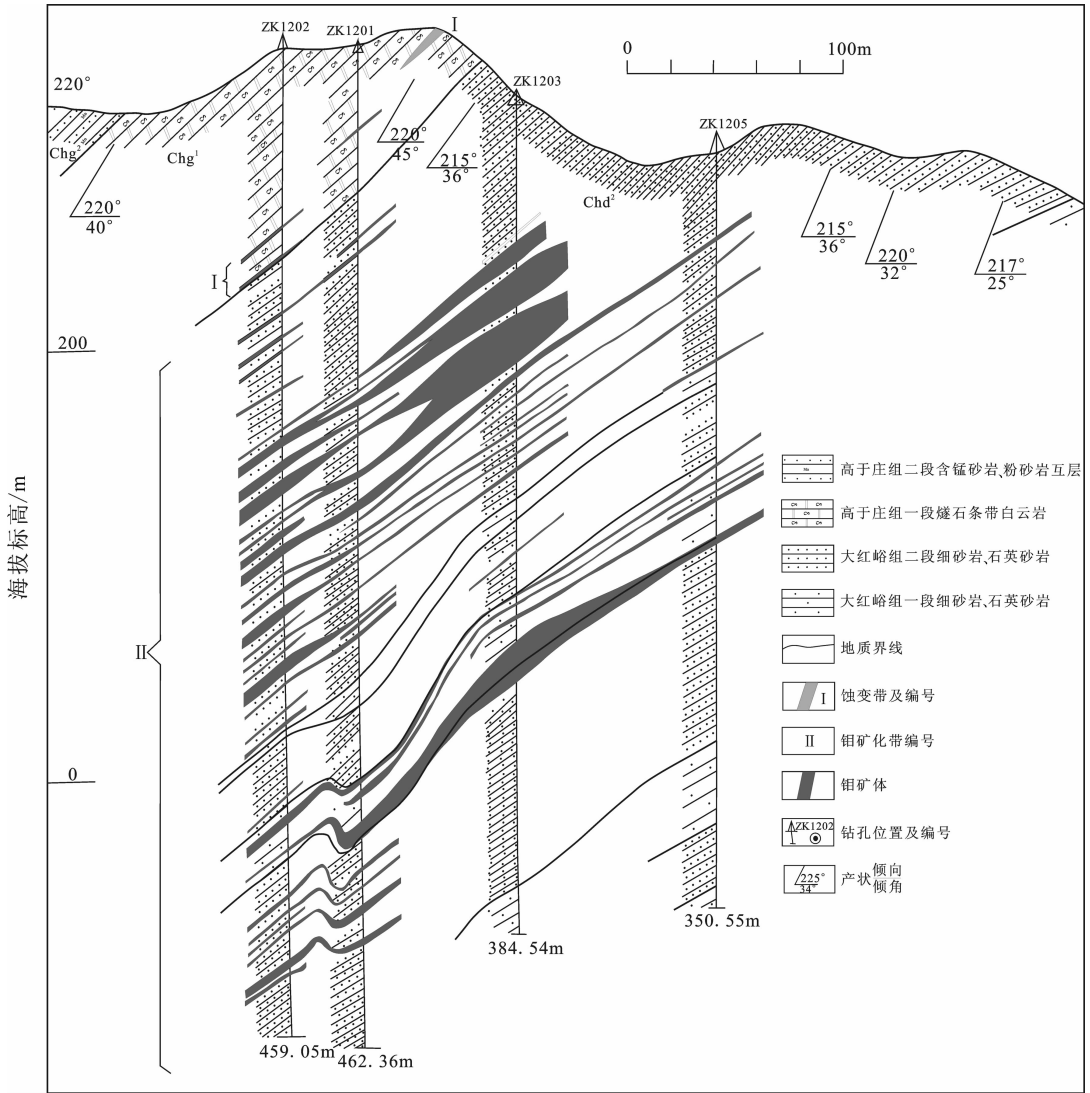


图 2 四拨子—六拨子钼铜矿床 12 号勘探线钼矿体剖面图(据河北省地矿局第五地质大队,2008 修改)
 Fig. 2 Cross section along No. 12 exploration line in the Sibozhi-Liubozhi Mo-Cu deposit (modified after No.5 Geological Party of Hebei Bureau of Geology, 2008)

表 1 样品具体取样位置及矿石特征

Table 1 Sampling locations and characteristics of ores

样品编号	采样位置	岩矿石特征描述	用途
ZK601-14	74m	辉钼矿沿裂隙分布于透辉石化细砂岩中	Re-Os 年龄
ZK601-28	114.36m	含辉钼矿石英脉	Re-Os 年龄
ZK601-29	121.74m	含辉钼矿石英脉分布于黄铁矿化绿帘石化细砂岩中	Re-Os 年龄
ZK601-32	153.4m	含黄铁矿辉钼矿石英脉分布于透辉石透闪石砂岩中	Re-Os 年龄
ZK601-51	499.12m	辉钼矿石英脉	Re-Os 年龄
ZK1202-8	202.44m	砂岩中辉钼矿细脉	Re-Os 年龄
ZK1202-13	241.81m	含辉钼矿石英脉	Re-Os 年龄
ZK1202-3	65.3m	辉钼矿脉分布于细砂岩中	Re-Os 年龄
ZK1202-4	186m	石英脉中辉钼矿细脉	Re-Os 年龄

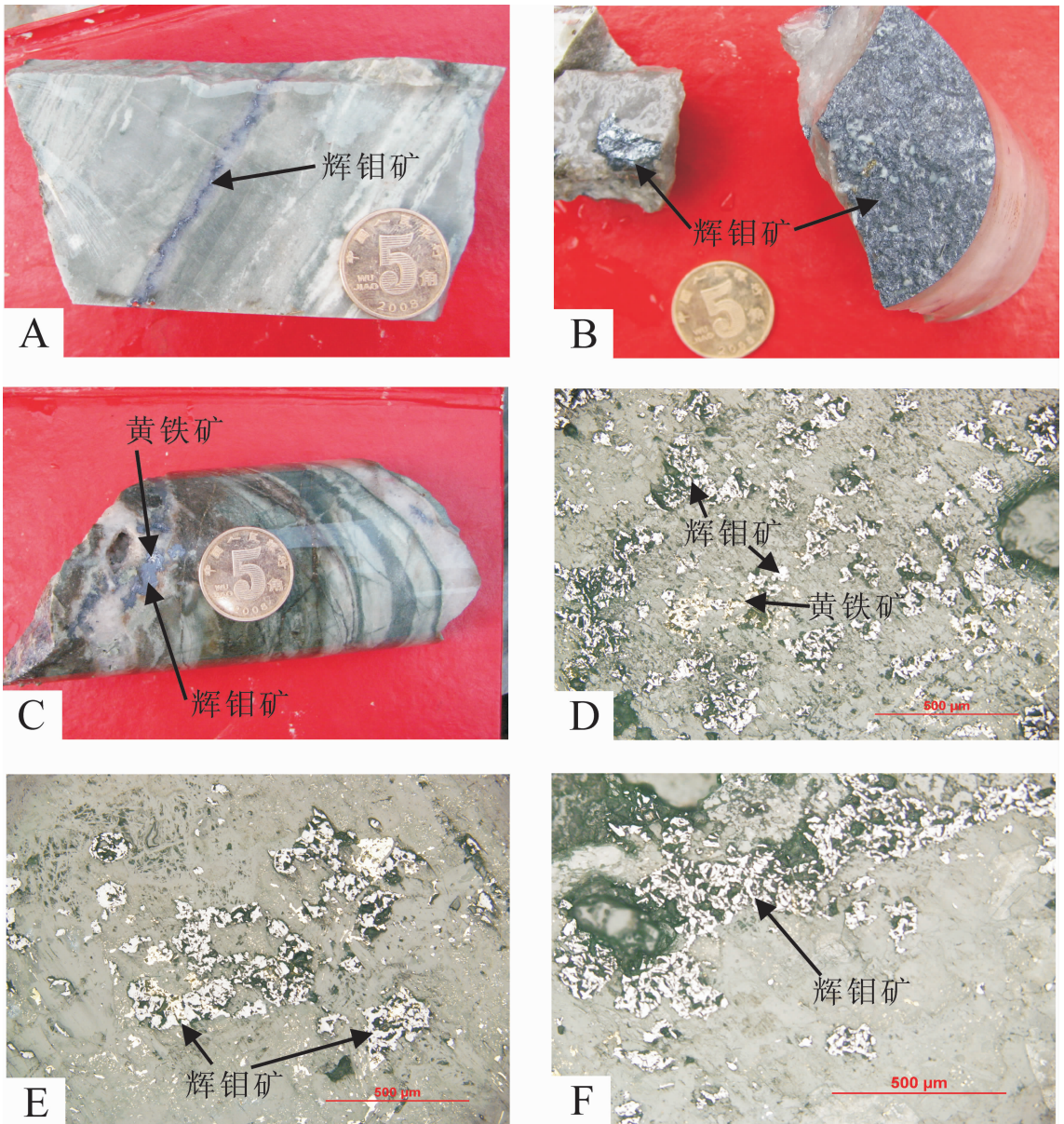


图3 四拨子—六拨子钼铜矿床矿化特征

A—辉钼矿石英脉分布于透辉石砂卡岩; B—辉钼矿石英脉; C—含黄铁矿辉钼矿石英脉分布于透辉石透闪石砂卡岩;
D—辉钼矿、黄铁矿共生; E—辉钼矿脉; F—辉钼矿成细脉状分布于石英脉中

Fig.3 Metallization features in the Sibozhi-Liubozhi Mo-Cu deposit

A—Molybdenite-quartz veins in diopside skarn; B—Molybdenite quartz vein; C—Pyrite-, molybdenite -bearing quartz veins in diopside-tremolite skarn; D—Pyrite in association with molybdenite; E—Molybdenite vein; F—Molybdenite veinlets in quartz vein

关系(图3)。从9件样品中分选出辉钼矿单矿物,质纯、无氧化、无污染,纯度达到99%以上,用于Re-Os同位素年龄测定。

Re-Os同位素分析测试工作在国家地质实验测试中心完成,采用Carius管封闭溶样分解样品,

Re和Os的分离等化学处理过程及质谱测试过程参见文献^[13-15]。质谱测定采用美国TJA公司生产的TJA X-series ICPMS测定同位素比值。对于Re:选择质量数185、187,用190检测Os。对于Os:选择质量数为186、187、188、189、190、192,用185监测Re。

本次实验标准物质为 GBW04436(HLP)。

3 测试结果

Re-Os 模式年龄 t 按下式计算: $t = 1/\lambda [\ln(1 + {}^{187}\text{Os}/{}^{187}\text{Re})]$, 取 λ (${}^{187}\text{Re}$ 衰变常数) = $1.666 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ 。四拨子—六拨子钼铜矿 9 件辉钼矿 Re-Os 同位素测试结果见表 2。其中 7 件辉钼矿 Re 含量为 $38.746.475 \sim 71.358 \mu\text{g/g}$, ${}^{187}\text{Re}$ 的含量为 $24.349 \sim 44.850 \mu\text{g/g}$; Os 含量为 $0.001 \sim 0.082 \text{ng/g}$, ${}^{187}\text{Os}$ 的含量为 $79 \sim 143.4 \text{ng/g}$ 。2 件辉钼矿测试结果明显不同于前述 7 件辉钼矿, 值较低, 相差一个数量级, Re 含量为 $6.475 \sim 6.923 \mu\text{g/g}$, ${}^{187}\text{Re}$ 的含量为 $4.069 \sim 4.352 \mu\text{g/g}$, Os 含量为 $0.002 \sim 0.007 \text{ng/g}$, ${}^{187}\text{Os}$ 的含

量为 $8.5 \sim 8.8 \text{ng/g}$ 。7 件样品的 Re-Os 同位素模式年龄十分接近, 为 $(191.6 \pm 2.7) \text{Ma} \sim (196.0 \pm 2.9) \text{Ma}$, 加权平均值 $(194 \pm 1) \text{Ma}$, $\text{MSWD} = 1.10$ (图 4-A)。采用 ISOPLOT 软件对所获得的数据进行等时线计算, 7 件辉钼矿样品获得的等时线年龄为 $(187.8 \pm 4.5) \text{Ma}$, $\text{MSWD} = 0.57$ (图 4-B), 与模式年龄和加权平均值比较接近, 在误差范围内基本一致。考虑到等时线上有两组 (各 3 个点) 测点分别相对集中, 没有拉开, 对等时线谐和度有一定影响, 可能造成年龄偏差略大, 因此采用加权平均值 $(194 \pm 1) \text{Ma}$ 作为辉钼矿的形成年龄。

另外 2 个辉钼矿样品模式年龄值在 $(121.1 \pm 1.8) \sim (125.9 \pm 1.9) \text{Ma}$, 平均模式年龄为 123.5Ma , 远

表 2 四拨子—六拨子钼铜矿辉钼矿 Re-Os 同位素数据
Table 2 Re-Os data of molybdenite from the Sibozhi-Liubozhi Mo-Cu deposit

原样号	Re/(ng·g ⁻¹)		普 Os/(ng·g ⁻¹)		Re ¹⁸⁷ /(ng·g ⁻¹)		Os ¹⁸⁷ /(ng·g ⁻¹)		模式年龄/Ma	
	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
ZK601-14	51497	389	0.030	0.02	32367	244	104.7	0.9	193.9	2.7
ZK601-28	40342	337	0.076	0.03	25356	212	82.3	0.7	194.4	2.8
ZK601-29	51631	458	0.001	0.01	32451	288	104.0	1.0	192.1	3.0
ZK601-32	39976	330	0.062	0.05	25126	207	82.2	0.7	196.0	2.9
ZK601-51	38740	304	0.082	0.03	24349	191	79.0	0.7	194.4	2.7
ZK1202-8	71358	554	0.026	0.01	44850	348	143.4	1.3	191.6	2.7
ZK1202-13	52062	477	0.012	0.05	32722	300	105.8	0.9	193.7	2.9
ZK1202-3	6475	54	0.002	0.01	4069	34	8.5	0.1	125.9	1.9
ZK1202-4	6923	60	0.007	0.01	4352	38	8.8	0.1	121.1	1.8

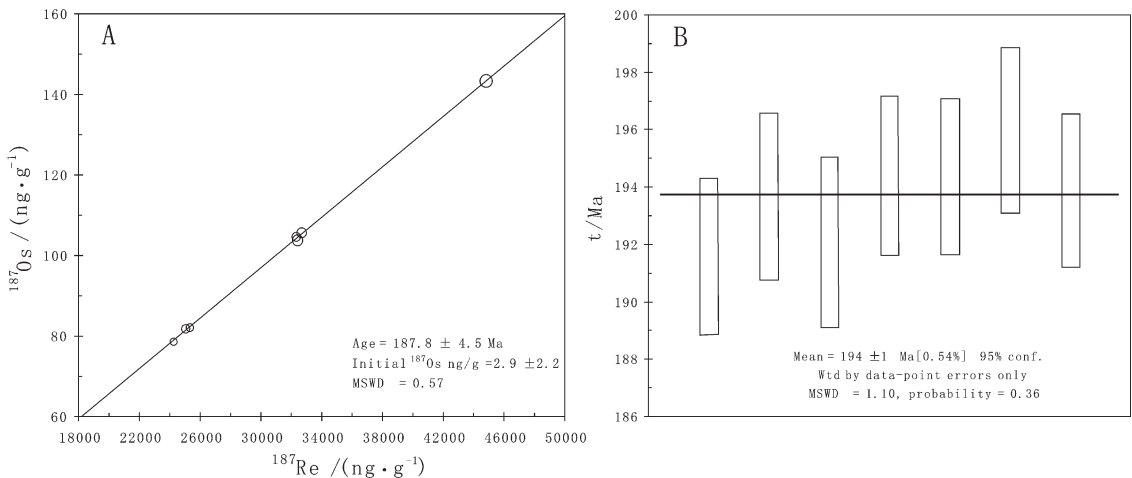


图 4 四拨子—六拨子钼铜矿床辉钼矿 Re-Os 同位素等时线(A)和辉钼矿 Re-Os 模式年龄加权平均值(B)
Fig.4 Re-Os isochron (A) and mean model ages of molybdenites (B) from the Sibozhi-Liubozhi Mo-Cu deposit

远小于7件辉钼矿样品年龄值,由于2件辉钼矿的Re含量低于7件辉钼矿年龄一个数量级,可以排除早期辉钼矿由于后期热液活动导致Re同位素重置的可能性。因此,123.5 Ma可以代表四拨子—六拨子钼铜矿在早白垩世存在一次热液活动和钼矿化事件,两期相距约70 Ma。

4 讨论

4.1 四拨子—六拨子钼铜矿成矿时代

矿区侵入岩发育,存在4期岩浆侵入活动:第一期为211~206 Ma,形成六柱坪和三拨子西沟细粒似斑状二长花岗岩;第二期为196~190 Ma,形成老商家和五拨子花岗斑岩;第三期为177 Ma,形成达子沟细粒似斑状二长花岗岩;第四期为160 Ma,形成七拨子粗中粒二长花岗岩^[1]。四拨子—六拨子钼铜矿床矿石中辉钼矿Re—Os年龄有两个区间,其中7件辉钼矿样品的Re—Os模式年龄集中在196~192

Ma,加权平均值为(194±1)Ma,这与矿区出露的老商家花岗斑岩和五拨子花岗斑岩年龄一致(196~190 Ma),表明四拨子—六拨子钼铜矿床的形成时代为早侏罗世早期,与花岗斑岩侵入的热液活动有关。在野外也可以看到老商家花岗斑岩脉就位于矿带的北西端,与矿带有密切的空间关系,虽然岩心中未见岩体,但花岗斑岩体中是否存在斑岩型钼铜矿化值得高度关注。四拨子—六拨子钼铜矿床194 Ma的成矿事件在燕辽钼成矿带并不多见,仅有杨家杖子2件样品191~190 Ma和兰家沟1件样品192 Ma与之接近(表3),不同的是兰家沟斑岩型钼矿体赋存于细粒似斑状花岗岩体边部或顶部,四拨子—六拨子钼铜矿与杨家杖子矽卡岩钼矿有一定的相似性,两者均产于矽卡岩蚀变带中。

四拨子—六拨子钼铜矿床矿石中2件辉钼矿样品的Re—Os模式年龄为(121.1±1.8)Ma~(125.9±1.9)Ma,属早白垩世末成矿事件。矿区6个岩体中

表3 燕辽成矿带钼、铜矿床成矿年龄

Table 3 Metallogenic ages of Mo, Cu deposits in the Yanliao metallogenic belt

地区	矿床名称	样号	测试矿物	测试方法	模式年龄/Ma	等时线年龄/Ma	资料来源
辽西	肖家营子	XJ13-1	辉钼矿	Re-Os	160.8±3.2	165.5±4.6	代军治, 2008 ^[8]
		XJ13-2	辉钼矿	Re-Os	161.8±2.5		
		XJ5	辉钼矿	Re-Os	160.6±2.8		
		XJ11	辉钼矿	Re-Os	159.1±2.6		
		XJ15	辉钼矿	Re-Os	160.4±2.6		
		XJ1	辉钼矿	Re-Os	165.8±2.8		
	兰家沟	L-1	辉钼矿	Re-Os	188±5	186.5±0.7	黄典豪, 1996 ^[1]
		L-3	辉钼矿	Re-Os	186±5		
		L-5	辉钼矿	Re-Os	188±5		
		L-17	辉钼矿	Re-Os	192±5		
		L-18	辉钼矿	Re-Os	185±4		
	杨家杖子	Y-15-1	辉钼矿	Re-Os	190±6		
		Y-15-2	辉钼矿	Re-Os	187±2		
		Y-17	辉钼矿	Re-Os	191±6		
	新台门	CZ40	辉钼矿	Re-Os	184.6±1.1	等时线年龄 178±5 Ma	张遵忠等, 2009 ^[19]
		CZ41	辉钼矿	Re-Os	182.4±1.5		
		CZ49	辉钼矿	Re-Os	176.9±3.7		
		CZ55	辉钼矿	Re-Os	181.6±2.1		
CZ64		辉钼矿	Re-Os	179.7±3.3			
大草坪	2006PD1K	辉钼矿	Re-Os	146.3±2.3		段焕春, 2007 ^[24]	
	2006PD1K	辉钼矿	Re-Os	146.8±2.3			
	JJ	辉钼矿	Re-Os	137.1±2.6			
	JJ	辉钼矿	Re-Os	137.3±2.4			
	ZK1901-150	辉钼矿	Re-Os	135.8±2.1			
	ZK1901-150	辉钼矿	Re-Os	136.7±2.1			
撒岱沟门	SD1	辉钼矿	Re-Os	237.0±3.9		代军治, 2008 ^[8]	
	SD1	辉钼矿	Re-Os	238.3±4.3			
冀北	大庄科	DC-95-1	辉钼矿	Re-Os	147.1±6.6		黄典豪, 1996 ^[1]
		DC-95-11	辉钼矿	Re-Os	144.7±10.7		
		DC-95-2	辉钼矿	Re-Os	146.4±5.9		
	大湾 小寺沟 寿王坟	DW95-1	辉钼矿	Re-Os	144.4±7.4		
		S-17	辉钼矿	Re-Os	134±3		
		SH-13	辉钼矿	Re-Os	148±4		
四拨子— 六拨子	ZK601-14	辉钼矿	Re-Os	193.9±2.7	等时线年龄 187.8±4.5 Ma; 加权平均 194±1 Ma	本文	
	ZK601-28	辉钼矿	Re-Os	194.4±2.8			
	ZK601-29	辉钼矿	Re-Os	192.1±3.0			
	ZK601-32	辉钼矿	Re-Os	196.0±2.9			
	ZK601-51	辉钼矿	Re-Os	194.4±2.7			
	ZK1202-8	辉钼矿	Re-Os	191.6±2.7			
	ZK1202-13	辉钼矿	Re-Os	193.7±2.9			
	ZK1202-3	辉钼矿	Re-Os	125.9±1.9			
ZK1202-4	辉钼矿	Re-Os	121.1±1.8				

最年轻的七拨子粗中粒二长花岗岩年龄为 160 Ma, 与第二期成矿相差 34~39 Ma, 杜保峰等^[7]总结了燕辽钼成矿带成岩-成矿时差在 0~14 Ma, 平均在 4.1 Ma, 显然第二期成矿与七拨子粗中粒二长花岗岩的侵入没有成矿联系。目前收集到燕辽成矿带中 10 个矿床 33 个辉钼矿 Re-Os 模式年龄, 前人的模式年龄最小的是小寺沟 134 Ma 和大草坪 137~136 Ma, 为晚侏罗世末成矿。本次获得的 2 件 126~121 Ma 模式年龄, 属早白垩世, 是目前燕辽钼成矿带最晚钼成矿年龄, 区域上目前没有同期的钼矿成矿年龄, 但是有同期的岩浆活动, 如小寺沟铜(钼)矿区花岗斑岩(123 Ma)^[10]、大庄科钼矿区石英二长岩(126 Ma)^[17]、寿王坟铜(钼)矿区花岗闪长岩(127 Ma)^[18]等。燕辽钼成矿带在早白垩世(130~110 Ma)岩石圈大减薄环境中, 形成了一些与岩浆活动有关的金、银、铅锌等金属矿床^[8], 因此该期辉钼矿成矿可能与区域的金、银、铅锌成矿属同一成矿事件。

从地质特征上看, 两期辉钼矿样品产状基本一致, 均为细脉状、网脉状含黄铁矿辉钼矿石英脉、辉钼矿石英脉和砂岩中的辉钼矿脉, 但岩心中见到黄铁矿黄铜矿化闪长玢岩脉, 由于没有测定闪长玢岩脉的年龄, 无法判断闪长玢岩脉的侵入是否与区域上的岩浆侵入活动同期并与四拨子—六拨子钼铜矿第二期钼成矿有关, 还需要进一步研究。这对确定燕辽钼成矿带在早白垩世(126~121) Ma 是否仍有伴随钼矿化的一期热液活动具有重要意义。

4.2 燕辽成矿带成岩成矿时代

燕辽成矿带中 11 个矿床 42 个辉钼矿 Re-Os 模式年龄直方图(图 5)显示, 成矿年龄主要集中在 5 个区间: 第一期成矿时代为中三叠世(238~237 Ma), 以撒岱沟门钼矿为代表。第二期成矿时代为早侏罗世(196~180 Ma), 以杨家杖子钼矿、兰家沟钼矿(辉钼矿 Re-Os 年龄分别为 189 Ma、186.5 Ma^[3])、新台门钼矿(辉钼矿 Re-Os 年龄为 183 Ma^[9])和四拨子—六拨子钼铜矿为代表。第三期成矿时代为中侏罗世(166~160 Ma), 如肖家营子钼矿床等时线年龄为 165 Ma^[8]。第四期成矿时代为晚侏罗—早白垩世早期(148~134 Ma), 是燕辽地区主要成矿期, 多数钼矿形成于该成矿期, 如大草坪钼矿(辉钼矿 Re-Os 年龄为 140 Ma^[20])、大庄科钼矿、大湾钼矿、小寺沟铜(钼)矿、寿王坟铜(钼)矿等(辉钼矿 Re-Os 年龄分别为 144.7~147.1 Ma、144.4 Ma、134 Ma、148 Ma^[3])。第五期成矿

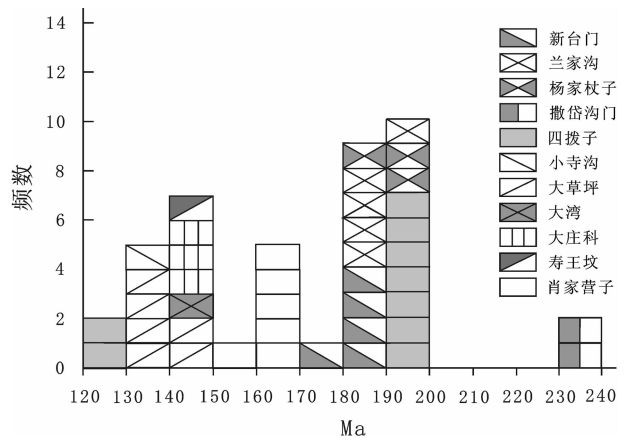


图 5 燕辽成矿带钼(铜)矿辉钼矿 Re-Os 模式年龄直方图
Fig.5 Re-Os model ages histogram for molybdenite of Mo (Cu) deposits in the Yanliao metallogenic belt

事件为早白垩世末(126~121 Ma), 目前仅见于四拨子—六拨子钼铜矿。燕辽成矿带多数钼矿的成矿年龄集中在 196~180 Ma 和 148~134 Ma 区间, 每个区间年龄持续 14~16 Ma, 具有等间隔成矿特征。

将燕辽成矿带 11 个钼(铜)矿区侵入岩年龄数据列于表 4。由于多数矿区岩体年龄数据测试时间早, 采用 K-Ar 法和 Rb-Sr 法, 这些年龄的精度不高, 但可以大体反映年龄范围。侵入岩年龄直方图(图 6)表明, 矿区与成矿有时空关系的侵入岩年龄分布于 3 个区间: 227 Ma (如撒岱沟门)、196~170 Ma (如四拨子、兰家沟、杨家杖子、肖家营子、新台门)和 147~123 Ma (如大湾、寿王坟、小寺沟和大庄科)。这 3 个年龄区间与钼成矿区间(238~237 Ma、196~180 Ma、148~134 Ma)有一定的对应关系, 表明成岩与成矿作用相伴形成。燕辽成矿带中生代侵入岩年龄变化于 245~115 Ma, 主要集中在 225 Ma 左右、185 Ma 左右、135 Ma 左右, 分别与燕辽地区晚三叠纪受印支运动影响发生的一次构造热事件作用^[8]、早侏罗世发育大型的强烈逆冲推覆构造反映的挤压变形作用^[21-23]、晚侏罗世古太平洋板块向华北板块俯冲碰撞引起的区域构造格局大转换环境及早白垩世岩石圈大规模伸展减薄事件相关^[8]。11 个矿区侵入岩年龄的 3 个区间与区域中生代岩体年龄的变化区间一致, 表明钼成矿事件是区域岩浆侵入活动的一个重要组成部分。

4.3 钼成矿物质来源

前人的研究表明, Re-Os 同位素的含量和比值可以示踪成矿物质来源^[14,31,32]。随着成矿物质从地幔、

表4 燕辽成矿带与钼、铜矿床有关岩体成岩年龄

Table 4 Petrogenetic ages of plutons related to Mo, Cu deposits in the Yanliao metallogenic belt

地区	矿床名称	测试岩体	测试矿物	测试方法	成岩年龄 (Ma)	资料来源
辽西	兰家沟	细粒花岗岩	锆石	SHRIMP U-Pb	188.9	代军治, 2008 ^[8]
		粗粒花岗岩	白云母	K-Ar	186.3	田豫才, 1999 ^[25]
	杨家杖子	粗粒花岗岩	白云母	K-Ar	188.8	赵一鸣等, 1990 ^[26]
		细粒花岗岩	锆石	U-Pb	189	吴福元等, 2006 ^[27]
	肖家营子	辉绿岩	不详	K-Ar	177	康书泽, 1979 ^[17]
		细粒闪长岩	锆石	SHRIMP U-Pb	169.9	代军治, 2008 ^[8]
新台门	花岗斑岩	锆石	LA-MC-ICP-MS U-Pb	181	张遵忠等, 2009 ^[16]	
冀北	大草坪 撒岱沟门	花岗闪长岩	锆石	U-Pb	137	代军治, 2008 ^[8]
		二长花岗岩	锆石	U-Pb	227	
	大庄科	石英二长岩	不详	K-Ar	126	康书泽, 1979 ^[17]
	大湾	石英二长岩	全岩	Rb-Sr	147	马国玺, 1995 ^[28]
		流纹斑岩	全岩	Rb-Sr	142	
		粗粒斑状花岗岩	全岩	Rb-Sr	137	
	小寺沟	花岗闪长斑岩	不详	K-Ar	129	韩秀丽等, 1999 ^[16]
		花岗斑岩	全岩	K-Ar	123	戴雪灵等, 2010 ^[29]
	寿王坟	花岗闪长岩	不详	K-Ar	127	权恒等, 1992 ^[18]
		花岗闪长岩	全岩	Rb-Sr	130	张德全等, 1988 ^[30]
四拨子	花岗斑岩	锆石	LA-ICP-MS	190	李强等, 2012 ^[11]	
	花岗斑岩	锆石		196		

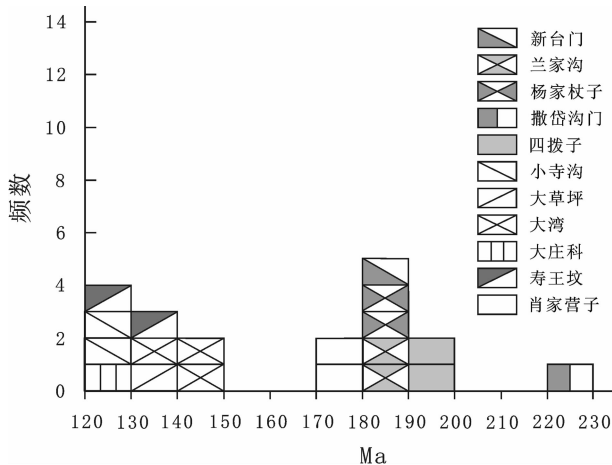


图6 燕辽成矿带钼(铜)矿区侵入岩年龄直方图

Fig.6 Histogram of ages for intrusive rocks in Mo (Cu) deposits of the Yanliao metallogenic belt

壳幔混合到地壳来源的不同, 辉钼矿中的 Re 含量呈数量级下降, 从几百 $\mu\text{g/g}$ 、几十 $\mu\text{g/g}$ 到几 $\mu\text{g/g}$, 且来自幔源的基性和超基性岩浆底侵、交代或熔融形成的 Cu (Mo) 矿床比壳源型矿床具有较高的 Re 含量^[31,33]。现将燕辽成矿带几个钼(铜)矿床的 Re、¹⁸⁷Re、¹⁸⁷Os 含量和 Re-Os 年龄列于表 5。由表 5 可见这些钼(铜)矿床的辉钼矿 Re 含量主要为 1.1~

71.4 $\mu\text{g/g}$ 。四拨子—六拨子矿床 9 件辉钼矿的 Re 含量变化于 6.475~6.923 $\mu\text{g/g}$ 和 38.74~71.358 $\mu\text{g/g}$ 。前一组对应 2 件辉钼矿模式年龄在 121.1~125.9 Ma, 指示钼具有地壳来源特征, 与燕辽成矿带的撒岱沟门钼矿一致(7.2~7.5 $\mu\text{g/g}$)。后一组对应 7 件辉钼矿模式年龄在 191.6~196.0 Ma, 指示钼具有壳幔混合来源特征, 这与燕辽成矿带的肖家营子钼(铁)矿、杨家杖子钼矿、兰家沟钼矿、小寺沟铜钼矿、寿王坟铜(铁、钼)、大湾钼矿、大庄科钼矿、大草坪钼矿 Re 含量一致(10.5~83.7 $\mu\text{g/g}$, 个别 163.0 $\mu\text{g/g}$)。四拨子—六拨子矿床和大草坪矿床一样具有两组 Re 含量(大草坪 Re 含量 1.1~7.2 $\mu\text{g/g}$ 和 12.4~12.6 $\mu\text{g/g}$), 表明钼为壳幔混源。

5 结论

(1) 四拨子—六拨子钼铜矿赋存于长城系石英砂岩及白云岩中的砂卡岩带, 含黄铁矿辉钼矿石英脉、辉钼矿石英脉和辉钼矿细脉中辉钼矿 Re-Os 模式年龄分为两个区间, 分别为早侏罗世早期(196~192 Ma)和早白垩世末(121~126 Ma)。

(2) 早侏罗世早期(196~192 Ma)的钼成矿作用与老商家花岗斑岩和五拨子花岗斑岩(196~190

表 5 燕辽成矿带钼(铜)矿床辉钼矿 Re-Os 同位素分析结果

Table 5 Re-Os isotopic analyses of molybdenite from molybdenum (copper) deposits in the Yanliao metallogenic belt

矿床	样品编号	Re/($\mu\text{g/g}$)	$^{187}\text{Re}/(\mu\text{g/g})$	$^{187}\text{Os}/(\text{ng/g})$	$^{187}\text{Re}/^{187}\text{Os}$	年龄/Ma	资料来源
杨家杖子	Y-15-1	34.4	21.5	67.0	0.32	190	
	Y-15-2	33.8	21.2	65.1	0.33	187	
	Y-17	53.1	33.2	104.1	0.32	191	
兰家沟	L-1	31.0	19.4	60.0	0.32	188	
	L-3	45.1	28.3	86.5	0.33	186	
	L-5	44.7	28.0	86.4	0.32	188	
	L-17	4.7	3.0	9.3	0.32	192	黄典豪等, 1996 ^[3]
	L-18	60.6	37.9	115.6	0.33	185	
小寺沟	S-17	37.1	23.3	51.2	0.46	134	
寿王坟	SH-13	10.5	6.6	16.0	0.41	148	
大湾	DW95-1	17.1	10.7	25.4	0.42	144	
大庄科	DC95-1	16.0	10.0	24.2	0.41	147	
	DC95-1'	20.2	12.6	30.0	0.42	144	
	DC95-2	11.2	7.0	16.9	0.41	146	
肖家营子	XJ13-1	37.9	23.8	63.9	0.37	161	
	XJ13-2	37.1	23.3	62.9	0.37	162	
	XJ5	83.7	52.6	141.0	0.37	161	代军治, 2008 ^[8]
	XJ11	42.4	26.6	70.7	0.38	159	
	XJ15	21.8	13.7	36.6	0.37	160	
	XJ1	163.0	102.4	283.2	0.36	166	
大草坪	2006PD1K	12.6	7.9	19.3	0.41	146	
	2006PD1K	12.4	7.8	19.1	0.41	147	
	JJ	1.1	0.7	1.6	0.44	137	
	JJ	1.1	0.7	1.6	0.44	137	段焕春, 2007 ^[24]
	ZK1901-150	7.2	4.5	10.2	0.44	136	
	ZK1901-150	7.1	4.4	10.1	0.44	137	
撒岱沟门	SD1	7.5	4.7	18.6	0.25	237	
	SD2	7.2	4.5	17.9	0.25	238	
四拨子-六拨子	ZK601-14	51.5	32.4	104.7	0.31	194	
	ZK601-28	40.3	25.4	82.3	0.31	194	
	ZK601-29	51.6	32.5	104.0	0.31	192	
	ZK601-32	40.0	25.1	82.2	0.31	196	
	ZK601-51	38.8	24.3	79.0	0.31	194	本文
	ZK1202-8	71.4	44.9	143.4	0.31	192	
	ZK1202-13	52.1	32.7	105.8	0.31	194	
	ZK1202-3	6.5	4.1	8.5	0.48	126	
	ZK1202-4	6.9	4.4	8.8	0.50	121	

Ma)的侵入活动有关。早白垩世末(121~126 Ma)钼成矿作用为目前燕辽地区最晚的。

(3)燕辽钼成矿带钼成矿时间有 5 期,分别是中三叠世(238~237 Ma)、早侏罗世(196~180 Ma)、中侏罗世(166~160 Ma)、晚侏罗—早白垩世早期(148~134 Ma)和早白垩世末(126~121 Ma),其中早侏罗世(196~180 Ma)和晚侏罗—早白垩世早期(148~134 Ma)为成矿的高峰期。

(4)辉钼矿样品的 Re 含量变化于 6.475~6.923 $\mu\text{g/g}$ 和 38.74~71.358 $\mu\text{g/g}$, 指示钼铜成矿物质具有壳幔混源的特征。

致谢:野外期间得到宏远矿业公司的支持,在此致以衷心的感谢!

参考文献(References):

[1] 罗铭玖, 张辅民, 董群英, 等. 中国钼矿床[M]. 郑州:河南科学技术出版社, 1991:1-425.

Luo Mingjiu, Zhang Fumin, Dong Qunying, et al. Chinese Molybdenum Deposit [M]. Zhengzhou:Henan Science and Technology Press, 1991:1-425(in Chinese).

[2] 芮宗瑶, 施林道, 方如恒. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质[M]. 北京:地质出版社, 1994:1-576.

Rui Zongyao, Shi Lindao, Fang Ruheng. Deposit Geology of Nonferrous Metals on the Northern Margin of the North China Landmass and in its Adjacent Area [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1994:1-576(in Chinese with English abstract).

[3] 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——辉钼矿铼-钨年龄及其地质意义 [J]. 矿床地质, 1996, 15 (4):365-373.

Huang Dianhao, Du Andao, Wu Chengyu, et al. Metallochrology of molybdenum (copper) deposits in the north China platform:Re -Os age of molybdenite and its geological significance [J]. Mineral Deposits, 1996, 15(4):365-373(in Chinese with English abstract).

[4] 裴荣富, 吕凤翔, 范继璋, 等. 华北地台北缘及其北侧金属矿床成矿系列与勘查[M]. 北京:地质出版社, 1998:1-237.

- Pei Rongfu, Lv Fengxiang, Fan Jizhang, et al. Metallogenetic series and exploration of metal deposits of north margin of the north China massif and its north side [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1998: 1-237 (in Chinese with English abstract).
- [5] 毛景文, 张作衡, 余金杰, 等. 华北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): 289-300.
- Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, Yu Jinjie et al. Geodynamic settings of Mesozoic large-scale mineralization in the North China: implication from the highly precise and accurate ages of metal deposits [J]. Science in China (Ser.D), 2003, 33(4): 289-299 (in Chinese).
- [6] 代军治, 毛景文, 杨富全, 等. 华北地台北缘燕辽钼(铜)成矿带矿床地质特征及动力学背景 [J]. 矿床地质, 2006, 25(5): 598-612.
- Dai Junzhi, Mao Jingwen, Yang Fuquan, et al. Geological characteristics and geodynamic background of molybdenum(copper) deposits along Yanshan-Liaoning metallogenic belt on northern margin of North China block [J]. Mineral Deposits, 2006, 25(5): 598-612 (in Chinese with English abstract).
- [7] 杜保峰, 魏俊浩, 王启, 等. 中国东部钼矿成矿背景与成岩-成矿时差讨论 [J]. 矿床地质, 2010, 29(6): 935-955.
- Du Baofeng, Wei Junhao, Wang Qi, et al. Discussion on metallogenic setting and time difference between magmatism and mineralization of molybdenum deposits in East China [J]. Mineral Deposits, 2010, 29(6): 935-955 (in Chinese with English abstract).
- [8] 代军治. 燕辽成矿带钼(铜)矿床成矿作用及成矿动力学背景 [D]. 北京: 中国地质科学院博士学位论文. 2008: 1-79.
- Dai Junzhi. The Metallogenesis and Geodynamic Settings of Molybdenum(Copper) Deposits in Yan-Liao Metallogenic Belt [D]. A Dissertation Submitted to Chinese Academy of Geological Sciences for Doctoral Degree. Chinese Academy of Geological Sciences, 2008: 1-79 (in Chinese with English abstract).
- [9] 河北省地矿局第五地质大队. 河北省青龙满族自治县四拨子—六拨子铜多金属矿普查地质报告 [R]. 2008: 1-42.
- No.5 Geological Party of the Hebei Bureau of Geology. Geological Reconnaissance Valuation Report of Siboozi-Liubozi Copper-molybdenum Deposit in Qinglong County, Hebei Province [R]. 2008: 1-42 (in Chinese).
- [10] 李强, 孟祥元, 武锋, 等. 河北省青龙满族自治县四拨子—六拨子钼铜矿床成矿流体及成矿机制探讨 [J]. 岩石学报, 2012, 28(1): 302-318.
- Li Qiang, Meng Xiangyuan, Wu Feng, et al. Ore-forming fluids and metallogenetic mechanism of Siboozi-liubozi molybdenum-copper deposit in Qinglong County, Hebei Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(1): 302-318 (in Chinese with English abstract).
- [11] 李强, 孟祥元, 武峰, 等. 河北省青龙县四拨子—六拨子钼铜矿
- 区侵入岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及成矿意义 [J]. 矿床地质, 2012, 31(2): 255-270.
- Li Qiang, Meng Xiangyuan, Wu Feng, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the intrusive rocks and its metallogenic significance of Siboozi-Liubozi molybdenum-copper deposit in Qinglong County, Hebei Province [J]. Mineral Deposits, 2012, 31(2): 255-270.
- [12] Stein H J, Sundblad K, Markey R J, et al. Re-Os ages for Archaean molybdenite and pyrite Kuittila-Kivisuo, Finland, and Proterozoic molybdenite, Lithuania; Testing the chronometer in a metamorphic and metasomatic setting [J]. Mineralium Deposita, 1998, 33: 329-345.
- [13] Shirey S B, Walker R J. Carius tube digestion for low-blank rhenium-osmium analysis [J]. Anal. Chem., 1995, 67: 2136-2141.
- [14] Mao Jingwen, Du Andao, Sletmann R, et al. Re-Os dating for the Shameika porphyry Mo deposit and the Lipovy Log pegmatite rare metal deposit in the central and southern Urals [J]. Mineralium Deposita, 2003, 38: 251-257.
- [15] Du Andao, Wu Shuqi, Sun Dezhong, et al. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC [J]. Geostandard and Geoanalytical Research, 2004, 28(1): 41-52.
- [16] 韩秀丽, 尹力军. 小寺沟铜钼矿床控矿因素及成矿规律 [J]. 河北理工学院学报, 1999, 21(2): 62-66.
- Han Xiuli, Yin Lijun. The study on the ore-controlled factors and metallogenic regularity of Xiao Sigou Cu-Mo deposit [J]. Journal of Hebei Institute of Technology, 1999, 21(2): 62-66 (in Chinese with English abstract).
- [17] 康书泽. 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 [R]. 朝阳: 辽宁朝阳地质勘察院, 1979: 24-38.
- Kang Shuze. The first phase of geological exploration report of Xiaojiayingzi Mo polymetallic deposit in Kazuo County, Liaoning Province [R]. Chaoyang: Chaoyang Geological Exploration Institute, 1979: 24-38 (in Chinese).
- [18] 权恒, 韩庆云, 艾永富, 等. 燕辽地区多金属、金、银成矿与远景 [M]. 北京: 地质出版社, 1992: 1-134.
- Quan Heng, Han Qingyun, Ai Yongfu, et al. The Features and Prospects of Metallogenesis of Polymetals, Gold and Silver in Yan-Liao Area of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 1-134 (in Chinese with English abstract).
- [19] 张遵忠, 吴昌志, 顾连兴, 等. 燕辽成矿带东段新台门钼矿床的 Re-Os 同位素年龄及其地质意义 [J]. 矿床地质, 2009, 28(3): 313-320.
- Zhang Zunzhong, Wu Changzhi, Gu Lianxing, et al. Molybdenite Re-Os dating of Xintaimen molybdenum deposit in Yanshan-Liaoning metallogenic belt, North China [J]. Mineral Deposits, 2009, 28(3): 313-320 (in Chinese with English abstract).

- [20] 段焕春, 秦正永, 林晓辉, 等. 河北丰宁县大草坪钼矿区岩体锆石 U-Pb 年龄研究[J]. 矿床地质, 2007, 26(6):634-642.
Duan Huanchun, Qin Zhengyong, Lin Xiaohui, et al. Zircon U-Pb ages of intrusive bodies in Dacaoiping molybdenum ore district, Fengning County, Hebei Province [J]. Mineral Deposits, 2007, 26(6):634-642(in Chinese with English abstract).
- [21] 郑亚东, Davis GA, 王琮, 等. 燕山带中生代主要构造事件与板块构造背景问题[J]. 地质学报, 2000, 74(4):289-302.
Zheng Yadong, Davis GA, Wang Cong, et al. Major Mesozoic tectonic events in the Yanshan belt and the plate tectonic setting[J]. Acta Geologica Sinica, 2000, 74(4):289-302 (in Chinese with English abstract).
- [22] Davis G A, Wang Cong, Zheng Yadong, et al. The enigmatic Yinshan fold-and-thrust belt of northern China: New views on its intraplate contractional styles[J]. Geology, 1998, 26(1):43-46.
- [23] Davis Ga, Zheng Yadong, Wang Cong, et al. Mesozoic tectonic evolution of the Yanshan fold and thrust belt, with emphasis on Hebei and Liaoning Provinces, northern China [J]. Geological Society of America Memoir, 2001, 194:171-197.
- [24] 段焕春. 冀北上黄旗构造岩岩浆岩带北段钼多金属成矿规律及找矿远景研究[D]. 北京:中国地质科学院博士后出站报告, 2007:39-37.
Duan Huanchun. Metallogenic regularity and prospecting potential of molybdenum polymetallic deposit of structural magmatic belt northern section in Shanghuangqi, Northern Hebei [D]. Beijing: A Dissertation Submitted to Chinese Academy of Geological Sciences for Postdoctoral Degree, 2007:39-37 (in Chinese with English abstract).
- [25] 田豫才. 辽西兰家沟钼矿区域成矿构造、岩浆演化及成矿作用[J]. 矿产与地质, 1999, 13(3):135-140.
Tian Yucai. Metallogenic structure, magmatic evolution and mineralizing process of molybdenum mineral area of Lanjiagou west Liaoning[J]. Mineral Resources and Geology, 1999, 13(3):135-140 (in Chinese with English abstract).
- [26] 赵一鸣, 林文蔚, 毕承思, 等. 中国矽卡岩矿床[M]. 北京:地质出版社, 1990:1-354.
Zhao Yiming, Lin Wenwei, Bi Chengsi, et al. Skarn Deposit of China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1990:1-354(in Chinese with English abstract).
- [27] 吴福元, 杨进辉, 张艳斌, 等. 辽西东南部中生代花岗岩时代[J]. 岩石学报, 2006, 22(2):315-325.
Wu Fuyuan, Yang Jinhui, Zhang Yanbin, et al. Emplacement ages of the Mesozoic granites in southeastern part of the western Liaoning Province [J]. Acta Petrologica Sinica, 2006, 22(2):315-325(in Chinese with English abstract).
- [28] 马国玺. 河北涞源大湾钼矿床地质特征 [J]. 华北地质矿产杂志, 1995, 10(1):64-76.
Ma Guoxi. Geological Characteristics of Dawan Zn-Mo deposit of Laiyuan, Hebei Province[J]. Jour. Geol. & Min. Res. North China, 1995, 10(1):64-76(in Chinese with English abstract).
- [29] 戴雪灵, 彭省临, 胡祥昭. 河北小寺沟铜钼矿埃达克岩: 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 矿床地质, 2010, 29(3):517-528.
Dai Xueling, Peng Shenglin, Hu Xiangzhao. Adakite in Xiaosigou porphyry copper-molybdenum deposit, Hebei Province: Age, geochemical characteristics and geological implications [J]. Mineral Deposits, 2010, 29(3):517-528(in Chinese with English abstract).
- [30] 张德全, 孙桂英. 中国东部花岗岩[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1988:15.
Zhang Dequan, Sun Guiying. Granites in eastern China [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1988:15 (in Chinese with English abstract).
- [31] Mao Jingwen, Zhang Zhaochong, Zhang Zuoheng, 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.
- [32] 王义天, 叶会寿, 叶安旺, 等. 小秦岭北缘马家洼石英脉型金钼矿床的辉钼矿 Re-Os 年龄及其意义 [J]. 地学前缘, 2010, 17(2):140-145.
Wang Yitian, Ye Huishou, Ye Anwang, et al. Re-Os age of molybdenite from the Majiawa Au-Mo deposit of quartz vein type in the north margin of the Xiaolinling gold area and its implication for metallogeny[J]. Earth Science Frontiers, 2010, 17(2):140-145 (in Chinese with English abstract).
- [33] Stein H J, Markey R J, Morgan J W, et al. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite: how and why it works [J]. Terra Nova, 2001, 13(6):479-486.

Re–Os ages of molybdenite from the Sibozhi–Liubozhi molybdenum–copper deposit in Qinglong County of Hebei Province and Its Implications for Metallogeny

LI Qiang¹, MENG Xiang-yuan², YANG Fu-quan¹, WU Feng², WANG Li-sheng²,
HU Hua-bin³, LIU Feng¹, ZHANG Zhi-xin⁴

(1. *MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*; 2. *No. 5 Geological Party of Hebei Bureau of Geology, Tangshan 063004, Hebei, China*; 3. *Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, Hebei, China*; 4. *Xinjiang Research Center for Mineral Resources, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China*)

Abstract: Located in eastern Yanliao metallogenic belt, the Sibozhi–Liubozhi molybdenum–copper deposit in Qinglong County is a newly–discovered medium–size molybdenum–copper deposit. Molybdenite occurs as veinlets, stockworks and disseminations in the skarn hosted in quartz sandstone and dolomite of Changcheng System. Molybdenum mineralization is closely related to silicification. Ore bodies occur in stratoid, veined and lenticular forms. Precise Re–Os dating of molybdenite from the molybdenite–quartz vein in ore was studied in this paper. The results show that the Re–Os model ages of seven samples range from (191.6 ± 2.7) Ma to (196.0 ± 2.9) Ma, with the weighted mean age of (194 ± 1) Ma, and the Re–Os model ages of two samples range from (121.1 ± 1.8) Ma to (125.9 ± 1.9) Ma, suggesting that the main metallogenic epoch of the Sibozhi–Liubozhi molybdenum–copper deposit was formed in the earliest Jurassic period (196~192 Ma) and that molybdenum mineralization was probably related to granite–porphyry (196~190 Ma) intrusive activities of Laoshangjia and Wubozhi. Molybdenum metallogenesis of Lower Cretaceous (121~126Ma) in the ore district is the latest data reported in Yanliao area. The rhenium values of molybdenite samples are in the range of 6.475~6.923 $\mu\text{g/g}$ and 38.74~71.358 $\mu\text{g/g}$, implying that Mo and Cu were derived not only from the crust but also from the mantle–crust mixed source.

Key words: Re–Os age; Jurassic; Cretaceous; molybdenum–copper deposit; Sibozhi–Liubozhi

About the first author: LI Qiang, male, born in 1987, master candidate, majors in mineral deposits; E–mail: liqiang200620062@yahoo.com.cn.

About the corresponding author: YANG Fu–quan, male, born in 1968, supervisor of doctor candidates, senior researcher, mainly engages in the study of mineral deposits and geochemistry; E–mail: fuquanyang@163.com.