

内蒙古北山地区小狐狸山钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义*

彭振安¹, 李红红², 屈文俊³, 张诗启¹, 丁海军⁴, 陈晓日⁴, 张斌⁵,
张永正⁵, 徐明¹, 蔡明海¹

(1 广西大学资源与冶金学院, 广西南宁 530004; 2 内蒙古自治区地质矿产勘查开发局, 内蒙古呼和浩特 010020;
3 国家地质实验测试中心, 北京 100037; 4 内蒙古自治区第十地质矿产勘查开发院, 内蒙古赤峰 024005;
5 内蒙古自治区第七地质矿产勘查开发院, 内蒙古呼和浩特 010000)

摘要 小狐狸山钼矿床是近年来在内蒙古北山地区新发现的一个具中型规模的隐伏矿床, 辉钼矿化呈浸染状、星点状或细脉状分布于小狐狸山岩体的边缘相细粒花岗岩和过渡相中细粒似斑状花岗岩中, 属斑岩型钼矿床。金属矿物主要为辉钼矿和黄铁矿以及少量的闪锌矿、黝铜矿、方铅矿、辉铋矿和磁铁矿。文章对矿床中6个辉钼矿样品进行了 Re-Os 同位素分析, 获得模式年龄为 216.3~220.1 Ma, 等时线年龄为 (220.0 ± 2.2) Ma, MSWD 值为 0.54, ^{187}Os 初始值为 $(0.23 \pm 0.30) \text{ ng/g}$ 。表明钼成矿时代为三叠纪, 属印支期构造-岩浆活动的产物。

关键词 地球化学; Re-Os 同位素年龄; 斑岩型钼矿床; 小狐狸山钼矿; 内蒙古北山地区
中图分类号 P618.65 **文献标志码** A

Molybdenite Re-Os age of Xiaohulishan molybdenum deposit in Beishan area, Inner Mongolia

PENG ZhenAn¹, LI HongHong², QU WenJun³, ZHANG ShiQi¹, DING HaiJun⁴, CHEN XiaoRi⁴,
ZHANG Bin⁵, ZHANG YongZheng⁵, XU Ming¹ and CAI MingHai¹

(1 College of Resources and Metallurgy, Guangxi University, Nanning 530004, Guangxi, China; 2 Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Hohhot 010020, Inner Mongolia, China; 3 National Research Center for Geoanalysis, Beijing 100037, China; 4 No. 10 Geological Party of Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Chifeng 024005, Inner Mongolia, China; 5 No. 7 Geological Party of Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Hohhot 010000, Inner Mongolia, China)

Abstract

The Xiaohulishan molybdenum deposit is a medium-size concealed porphyry molybdenum deposit recently discovered in Beishan area, Inner Mongolia. Disseminated, starry and veinlet mineralizations are hosted in fine-grained granite of the marginal facies zone and fine-middle grained porphyritic granite of the transitional facies zone. Metallic minerals are composed mainly of molybdenite and pyrite, with minor amounts of sphalerite, stannite, galena, bismuthinite and magnetite. Re-Os isotopic dating of six samples from various ore bodies of this ore deposit yielded age data of 216.3~220.1 Ma, with the isochron age being (220.0 ± 2.2) Ma, initial ^{187}Os

* 本文得到内蒙古自治区地质矿产勘查开发局和中国地质科学院矿产资源研究所“内蒙古自治区内生金属成矿规律及靶区筛选”项目(ND2007004)的资助

第一作者简介 彭振安,男,1961年生,博士,教授,主要从事矿床学研究和找矿地质工作。Email: pengzhenan@hotmail.com

收稿日期 2009-05-31; 改回日期 2009-08-25。李德先编辑。

(0.23 ± 0.30) ng/g, and MSWD 0.54, indicating that molybdenum mineralization took place in Triassic and had a close spatial and temporal association with the tectonomagmatic orogenic process in Indosinian period.

Key words: geochemistry, Re-Os isotopic age, porphyry molybdenum deposit, Xiaohulishan molybdenum deposit, Beishan, Inner Mongolia

小狐狸山钼矿床位于内蒙古自治区额济纳旗赛汉陶来苏木北部 77 km 处。上世纪 80 年代,甘肃省地质矿产局酒泉地质矿产调查队在该区进行了钼、铅矿点普查。2005~2007 年,经内蒙古地调院详细的地质勘查工作,探明了小狐狸山矿床是一个具有中型规模的隐伏斑岩型钼矿床^①。

近年来,在内蒙古北山地区黑鹰山-雅干成矿带相继发现了流沙山钼金矿、额勒根乌兰乌拉钼铜矿、小狐狸山钼矿及独龙包钼矿,显示了该带钼矿的找矿潜力。许多研究者认为该区带的钼(铜)成矿作用与华力西期构造岩浆活动有关(聂凤军等,2002; 2005; 彭巨贵等,2006)。本文对小狐狸山钼矿床开展同位素年代学研究,旨在对成矿时代进行探讨,为该区带的隐伏钼矿床找矿勘查提供参考依据。

1 成矿地质环境

内蒙古北山地区处于西伯利亚板块、俄罗斯板块和塔里木-中朝板块三大板块之间的古亚洲构造区。北山造山带位于塔里木板块北部边缘,属于古亚洲构造区南带天山-兴安造山带中西段。区域地壳结构有基底结晶岩系(新太古界)和褶皱岩系(中新元古界),盖层为古生界。构造形态为一系列总体东西向并向北突出的弧形大断裂分割的断块,断块内褶皱强烈(左国朝等,1990; 龚全胜等,2002; 杨合群等,2006)。古生代时期(华力西期),受西伯利亚板块和南侧古蒙古洋壳俯冲以及之后与华北陆台碰撞对接作用,本区为陆缘岛弧环境,表现为岛弧型的火山成矿组合;古生代末期至中生代早期(印支期),随着古亚洲洋的消失,华北陆台与西伯利亚板块闭合为一整体,全区进入了一个板块内伸展变形环境,表现为与偏碱性岩、中酸性岩脉、岩株有关的成矿组合(王荃等,1991; 李述靖等,1998; 邵济安等,1999; 李俊建,2006)。

小狐狸山矿区出露的地层主要为奥陶系咸水湖组和石炭系绿条山组,其次为第四系冲洪积砂砾、风

成砂土。奥陶系咸水湖组围绕小狐狸山岩体周边分布,或呈捕虏体残留在岩体内部,厚度 1 320 m,走向 NE 向,倾向 NW,倾角 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$,岩性为灰黑色安山质岩屑、晶屑凝灰岩和蚀变安山岩。石炭系绿条山组仅在矿区南部小面积分布,岩层走向 EW 向,倾向 S,倾角 $42^{\circ} \sim 60^{\circ}$,岩性为灰黑色-褐色砂岩、长石砂岩夹少量安山岩,与奥陶系呈断层接触(图 1)。

区内褶皱构造为一轴向近 EW 向的背斜,核部为奥陶系咸水湖组,并有岩体侵入。断裂构造主要有 NW 向、EW 向和 NE 向以及放射状裂隙,NE 向和 NW 向两组断裂控制了岩体侵位。

矿区侵入岩主要为小狐狸山花岗岩,是本区的成矿岩体,呈椭圆状岩株产出,南北长 2.7 km、东西宽 1.5 km,面积约 4.05 km^2 。岩体南端呈舌状超覆于奥陶系之上,接触面产状北倾,倾角 $70^{\circ} \sim 80^{\circ}$ 。经钻探揭露,岩体南端厚 170~200 m,往北逐渐变厚,局部达 800 m。在岩体不同深度多见有大小不等的团块状安山岩捕虏体,捕虏体内绿帘石化、碳酸盐化、黄铁矿化普遍,但未见辉钼矿化。小狐狸山岩体内部部分带明显,可分为边缘相、过渡相和中心相(图 1)。

(1) 边缘相:岩性为灰白色钠长石化细粒花岗岩,分布在岩体最外围,宽 70~200 m,局部缺失。岩石具细粒花岗结构,块状构造。矿物成分主要由斜长石、钾长石、石英、白云母和黑云母组成。

(2) 过渡相:岩性为灰白色钠长石化中细粒似斑状花岗岩,分布于岩体四周,宽 10~600 m,局部缺失。岩石具中-中细粒似斑状-斑状结构,块状构造。斑晶由正长石(20%)和石英(15%)组成。正长石粒度 $0.5 \sim 3.5 \text{ mm}$,半自形晶,部分被钠长石交代。石英粒度 $1.0 \sim 4.0 \text{ mm}$,他形-半自形晶。基质由 $0.05 \sim 0.15 \text{ mm}$ 的长石、石英组成。

边缘相和过渡相岩石普遍发生了钠长石化,次为绿帘石化、电气石化、碳酸盐化,岩浆期后热液阶段所形成的云英岩化也非常发育,局部发育萤石化和黄铁矿化,并有后期石英脉穿插。区内辉钼矿体

① 周文川,等.2008.内蒙古额济纳旗小狐狸山矿区钼矿详查报告(内蒙古地质矿产勘察院项目)。

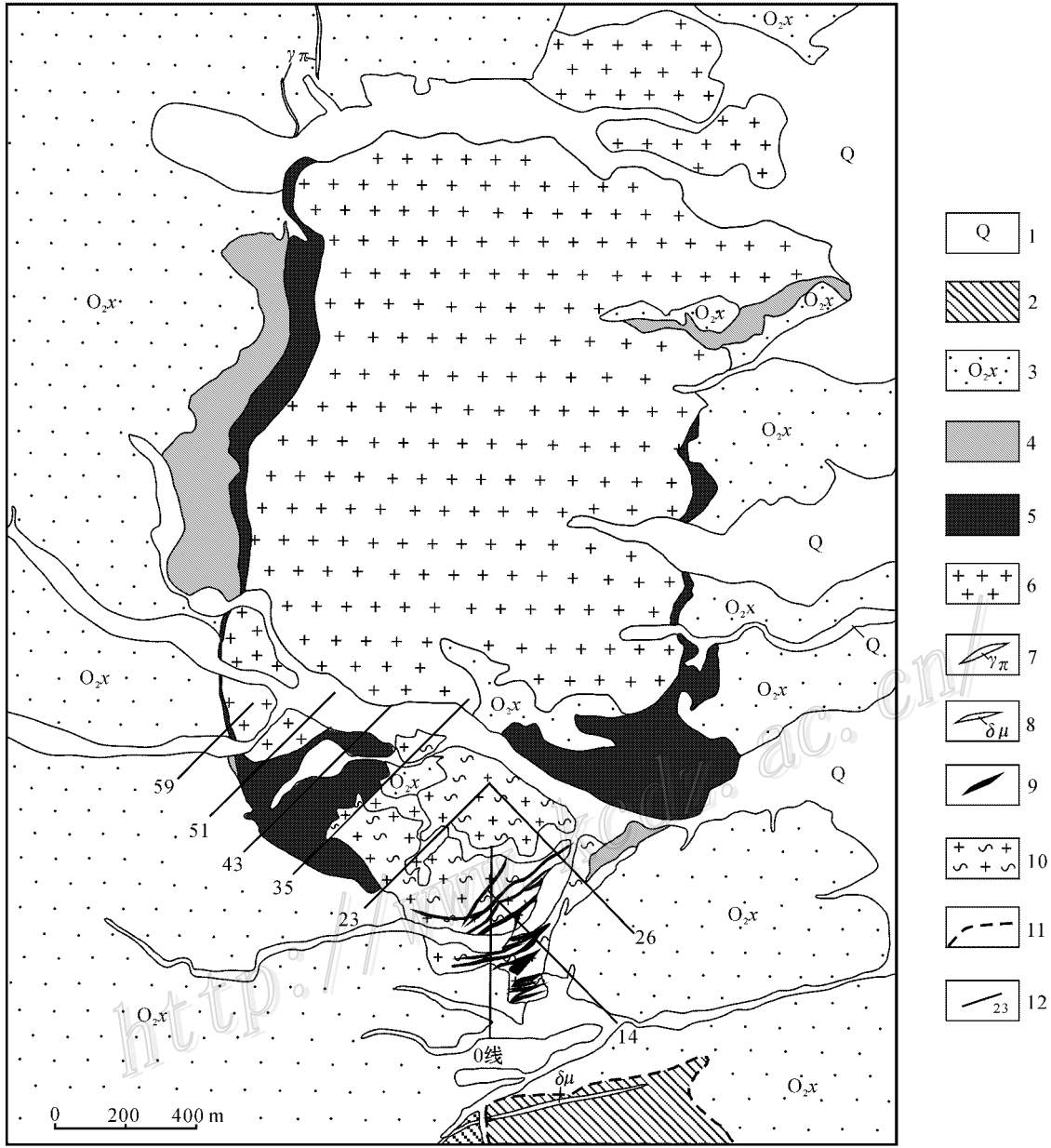


图 1 小狐狸山钼矿区地质略图(周文川等 2008^①修改)

1—第四系;2—石炭系绿条山组;3—奥陶系咸水湖组;4—岩体边缘相;5—岩体过渡相;6—岩体中心相;7—花岗斑岩脉;
8—闪长玢岩脉;9—石英脉;10—云英岩;11—断层;12—勘探线及编号

Fig. 1 Simplified regional geological map of the Xiaohulishan molybdenum deposit, Ejina Banner, Inner Mongolia
(modified after Zhou et al., 2008)

1—Quaternary; 2—Carboniferous Lutiaoshan Formation; 3—Ordovician Xianshui Formation; 4—Marginal facies of granite; 5—Transitional facies of granite; 6—Central facies of granite; 7—Granitoid porphyry vein; 8—Diorite porphyryite; 9—Quartz vein; 10—Greisen vein;
11—Fault; 12—Exploration section and its serial number

主要赋存在边缘相和过渡相岩体中。

红色钾长石化中粗粒似斑状花岗岩,中心相分布面积较大,与两者呈过渡关系,宽 800~1 200 m。

(3) 中心相:分布于岩体中心部分,岩性为浅肉

① 周文川,等.2008.内蒙古额济纳旗小狐狸山矿区钼矿详查报告(内蒙古地质矿产勘察院项目)。

该带岩石具似斑状结构,基质为细粒花岗结构,块状构造。斑晶粒度多在 2~10 mm,由条纹长石和石英组成,基质由长石、石英及黑云母组成,粒度一般为 0.25~0.8 mm。

2 钼矿体地质特征

小狐狸山钼矿赋存于岩体的边缘相和过渡相内,矿体在地表无露头,为典型盲矿床。目前已控制的矿化范围为 2.13 km²,主要集中在花岗岩岩体的南部,北部仅有少量工程控制。区内共圈出矿体 137 个,其中工业矿体 79 个,主要由浸染状、斑点状和细脉状辉钼矿化花岗岩组成,浅部有呈脉状穿插的成矿晚期含辉钼矿云英岩脉和石英脉叠加。区内钼矿床可分为云英岩型和斑岩型两类,以斑岩型为主体。前者主要分布在 0 勘探线以东,称东区;后者主要分布在 0 勘探线以西,称西区(图 1)。

东区 分布于 0 勘探线以东,矿体赋存于云英岩脉及钠长石化似斑状花岗岩中,受 NE 向断层、节理裂隙控制,呈细脉状、透镜状产出,具雁行状排列特征,且浅部以云英岩型矿化为主,深部以斑岩型矿化为主。矿体埋深 15~200 m,赋存标高 954~748 m,走向 NE,倾向 SE,倾角缓,多在 10°以内,个别矿体倾角达 20~43°。东区矿化较均匀,但矿体连续性差且厚度变化较大,平均厚度 15 m 左右,钼平均品位 0.08%~0.12%。浅部的含矿云英岩脉由于氧化作用,褐铁矿、镜铁矿含量较高,总体呈褐黄色和灰黑色铁帽。

西区 为小狐狸山矿的主体,矿体主要集中在分布于 23~59 线之间。矿体赋存于钠长石化似斑状花岗岩中,显示斑岩型矿化特点,矿体埋藏较深,主矿体赋存在地表之下 300~600 m 之间,矿体厚度大、品位高,个别钻孔揭示单层厚度最大 77 m,总厚度 170 m,主矿体总平均厚度 80~100 m,钼平均品位 0.15%~0.20%。矿体呈椭圆形,东西长 800 m、南北宽 300~600 m,勘探区规模达到中型。

西区的 93 号(23~59 勘探线之间)、94 号(23~47 线之间,位于 93 号矿体之下,两者间隔 5~50 m)和 95 号(23~35 线之间,位于 94 号矿体之下,两者间隔 5~40 m)矿体是区内最大的 3 个矿体,矿体走向 NW,倾向 SW,倾角 25°。

矿石中金属矿物主要为辉钼矿、黄铁矿,另有少量闪锌矿、黝铜矿、方铅矿、辉铋矿、磁铁矿;非金属

矿物主要为石英、钠长石、钾长石、斜长石、黄玉、白云母、萤石和碳酸盐矿物等。辉钼矿呈钢灰色,半自形-自形板状、鳞片状。粒度多为 0.02~0.3 mm,少数可达 0.5 mm。呈浸染状、星点状或细脉状分布于钠长石化花岗岩和云英岩中。与黄铁矿、辉铋矿共生,具有显著的内反射和双反射,强非均质性。

围岩蚀变具有明显的分带性,由岩体中心相的强硅化、钾长石化,过渡相和边缘相钠长石化,并叠加有岩浆期后云英岩化。岩体外接触带 200~600 m 范围内,奥陶系咸水组安山岩、安山质凝灰岩可见不同程度的青磐岩化,具体表现为绿帘石、黄铁矿、绢云母和碳酸盐化,矿化甚弱,仅在局部节理中有少量的辉钼矿和方铅矿,未构成有意义的工业矿体。钼矿体主要产于岩体过渡相和边缘相的钠长石化带和云英岩化带中。根据各类矿石的空间分布关系、结构构造和矿物组合特征,小狐狸山矿床的形成过程可以划分为斑岩型矿化阶段、云英岩型矿化阶段和青磐岩化阶段(表 1)。

3 辉钼矿 Re-Os 同位素组成

3.1 样品的采集与处理

用于 Re-Os 同位素年龄测定的 6 件辉钼矿样品均采自本区最主要的 93、94 和 95 号矿体的不同部位。该处钼矿体厚度最大,钼含量较高且变化范围较小。辉钼矿多呈浸染状、星点状或细脉状分布在矿石中。采样地段未见有强烈构造变形和后期的热液蚀变叠加现象,属于斑岩型矿石。辉钼矿样品是采用特制工具直接从岩芯标本上获取的,并且在实体显微镜下进行了仔细检查,每件辉钼矿样品的纯度(体积分数)均大于 98%。

3.2 分析方法

辉钼矿样品的 Re-Os 同位素分析在国家地质实验测试中心 Re-Os 同位素年代学实验室,采用美国 TJA 公司生产的 TJA PQ ExCell ICP2MS 仪完成。样品的化学处理流程和质谱测定技术已有许多学者论述(杜安道等 1994;2001;2009;Du et al., 2004)。含 Re 溶液中盐量超过 1 mg/mL 时,需采用阳离子交换柱除去钠(屈文俊等, 2003)。对于 Re 的测定,选择质量数 185、187,用 190 监测 Os。对于 Os 的测定,选择质量数为 186、187、188、189、190、192,用 185 监测 Re。最后,所获 Re-Os 同位素分析数据采用 Ludwig(1992)计算机软件进行处理,并且获得同

表 1 内蒙古额济纳旗小狐狸山钼矿床矿物形成顺序

Table 1 Formation sequences of molybdenum minerals in the Xiaohulishan molybdenum deposit , Ejin Banner , Inner Mongolia

矿物名称	斑岩型矿化阶段	云英岩型矿化阶段	青磐岩化阶段
石英			
钾长石			
斜长石			
钠长石			
白云母			
黄玉			
萤石			
方解石			
绿帘石			
辉钼矿			
黄铁矿			
闪锌矿			
黝铜矿			
方铅矿			
辉铋矿			
磁铁矿			

位素等时线年龄 ,计算过程中所采用的衰变常数为 $\lambda(^{187}\text{Re})=1.666\times 10^{-11}\text{ a}^{-1}$ 。

4 结果与讨论

4.1 钼矿体的形成时代

6 件辉钼矿样品 Re-Os 同位素分析数据及其特征值列于表 2。
由¹⁸⁷Os-¹⁸⁷Re 图(图 2)可知 ,辉钼矿等时线年龄值为(220.0 ± 2.2) Ma ,相关系数为 0.99998。MSWD 值为 0.54 ,¹⁸⁷Os 初始值为(0.23 ± 0.30) ng/g。Re 和 Os 都是高亲铁和亲铜元素 ,集中分布在

地核以及硫化物中 ,这使得直接测定金属硫化物矿床的年龄有了可能。随着 Re-Os 同位素分析测试技术的不断进步 ,Re-Os 同位素体系广泛应用于同位素定年、矿床成因、地幔演化、海洋环境的研究中(杜安道等 ,2009) ,因此 ,本研究采用 Re-Os 同位素体同位素定年法是得当的。一般来讲 ,判别同位素等时线年龄是否具有地质意义的重要依据有 3 条 :即所测样品是否同时期形成 ;所测样品是否具有同样物质来源 ;同位素体系是否处于封闭状态。在本次研究过程中 ,用于 Re-Os 同位素年代学研究的辉钼矿样品基本上可以满足上述条件。此外 ,从本区最主要的 93、94 和 95 号矿体的不同部位所采

表 2 内蒙古额济纳旗小狐狸山钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测定结果

Table 2 Re-Os isotopic analyses of molybdenite separates from the Xiaohulishan molybdenum deposit , Ejin Banner , Inner Mongolia

样品号	采样位置	m/g	Re ± 2σ/ (ng/g)	Os ± 2σ/ (μg/g)	¹⁸⁷ Re ± 2σ/ (μg/g)	¹⁸⁷ Os ± 2σ/ (ng/g)	模式年龄/Ma
Xm-1	ZK3908-618m 93 号矿体	0.03581	24.92 ± 0.23	0.0260 ± 0.0550	15.66 ± 0.15	57.19 ± 0.56	218.7 ± 3.4
Xm-2	ZK3908-602m 93 号矿体	0.05487	26.67 ± 0.25	0.0067 ± 0.0374	16.76 ± 0.16	61.57 ± 0.55	220.1 ± 3.4
Xm-3	ZK3104-425m 95 号矿体	0.03584	7.217 ± 0.081	0.2213 ± 0.0223	4.536 ± 0.051	16.53 ± 0.14	218.3 ± 3.5
Xm-4	ZK4313-410m 94 号矿体	0.0353	15.68 ± 0.11	0.1123 ± 0.0227	9.853 ± 0.072	35.86 ± 0.29	218.1 ± 2.9
Xm-5	ZK4307-730m 94 号矿体	0.03514	32.93 ± 0.30	0.3382 ± 0.0341	20.70 ± 0.19	75.82 ± 0.62	219.5 ± 3.2
Xm-6	ZK4307-335m 95 号矿体	0.03755	8.971 ± 0.081	0.1641 ± 0.0012	5.638 ± 0.051	20.36 ± 0.18	216.3 ± 3.3

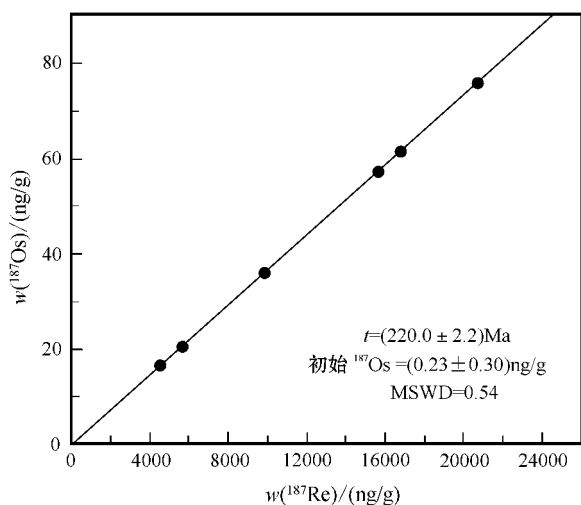


图 2 内蒙古额济纳旗小狐狸山钼矿床辉钼矿钼-钨同位素等时线图

Fig. 2 Re-Os isotopic isochron diagram of molybdenite separates from the Xiaohulishan molybdenum deposit, Ejina Banner, Inner Mongolia

到的辉钼矿样品具有以下几个特点:①所有 6 件辉钼矿样品均采自西区的矿化最富集地带的斑岩型矿石;②辉钼矿呈浸染状、星点状或细脉状产出,采样地段未见强烈变形和后期热液蚀变叠加现象;③ 6 件辉钼矿样品 Re-Os 同位素模式年龄值变化范围较小(216.3~220.1 Ma,加权平均值为 218.5 Ma);④所得到的等时线年龄与模式年龄平均值几乎完全吻合。因此,作者采用等时线年龄(220.0 ± 2.2) Ma 作为小狐狸山钼矿成矿作用的年龄,即本区的钼矿成矿作用发生在印支期。

4.2 黑鹰山-雅干成矿带多期成矿作用

小狐狸山钼矿所处的天山-兴安造山带,古生代时期(华力西期),受西伯利亚板块和南侧古蒙古洋壳俯冲以及之后与华北陆台碰撞对接作用,本区为陆缘岛弧环境,表现为岛弧型的火山成矿组合;古生代末期至中生代早期(印支期),随着古亚洲洋的消失,华北陆台与西伯利亚板块闭合为一整体,全区进入了一个板块内伸展变形环境,表现为与偏碱性岩、中酸性岩脉、岩株有关的成矿组合(王荃等,1991;李述靖等,1998;邵济安等,1999;李俊建,2006)。

小狐狸山钼矿所处的黑鹰山-雅干成矿带钼矿成矿岩体为一套华力西中、晚期到印支期的中酸性岩石组合,地球化学特征表现为酸性铝过饱和的钙碱性系列花岗岩,成岩物质以壳源为主,形成于挤压

构造环境,对应于古亚洲洋闭合事件和其后的板内环境;成矿岩体具有高温元素 W、Sn、Mo、Bi 高背景含量,且中温元素 Cu、Pb、Zn 背景含量偏低(另文发表);小狐狸山岩体蚀变类型主要有钾化、钠化和云英岩化,钼矿化主要产在边缘相和过渡相内,集中分布在岩体超覆于地层之上的南部地段,表明矿化主要与岩浆演化到晚期的热液作用相关。

同处于黑鹰山-雅干成矿带中,发育着不同期次的岩浆活动和成矿作用,如查干础鲁金矿[(234.0 ± 4.9) Ma],呼伦西白金矿[(231.0 ± 8.4) Ma],阿达日嘎金矿和珠斯楞铜矿[(249.0 ± 45) Ma;李俊建,2006]。小狐狸山西侧的额勒根乌兰乌拉 Mo-Cu (Au) 矿辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为(332.0 ± 9.0) Ma(聂凤军等,2005),与华力西中期中酸性岩浆活动有关;流沙山 Mo-Au 矿辉钼矿 Re-Os 等时线年龄为(260.0 ± 10.0) Ma(聂凤军等,2002),与华力西晚期中酸性岩浆活动有关。

由此可见,黑鹰山-雅干成矿带作为兴蒙造山带的一部分存在多期次的成矿作用。华力西中晚期至印支期,经历了西伯利亚板块和南侧古蒙古洋壳俯冲,华北陆台碰撞对接作用,随着古亚洲洋的消失,华北陆台与西伯利亚板块闭合为一整体,由华力西期的陆缘岛弧火山成矿系统,到印支期的后碰撞期板块内的伸展型与中酸性岩浆的成矿系统。小狐狸山钼矿床则是印支期中酸性岩浆成矿作用的产物。

5 结 论

(1)首次对内蒙古额济纳旗小狐狸山钼矿床中辉钼矿样品进行了 Re-Os 同位素分析,获等时线年龄为(220.0 ± 2.2) Ma,MSWD 值为 0.54,¹⁸⁷Os 初始值为(0.23 ± 0.30) ng/g。因此,钼成矿作用的时间为三叠纪,属印支期构造-岩浆活动的产物;黑鹰山-雅干成矿带存在着华力西中晚期至印支期的多期成矿作用。

(2)小狐狸山钼矿床围岩蚀变具有明显的分带。由岩体中心相的强硅化、钾长石化,过渡相和边缘相钠长石化,并叠加有岩浆期后云英岩化。岩体外接触带发育有不同程度的青磐岩化。辉钼矿呈浸染状、星点状或细脉状分布于过渡相和边缘相钠长石化斑状花岗岩。具有典型斑岩型钼矿床的特征,并且小狐狸山斑状花岗岩株的形成作用同样与印支期构造-岩浆活动有关。

志 谢 本研究的野外地质调查与采样工作得到了内蒙古自治区地质矿产勘查开发局赵士宝高级工程师,小狐狸山钼矿朱庆工程师和刘工程师的大力支持和帮助,谨表衷心感谢。

References

- Du A D, He H L, Yin N W, Zou X Q, Sun Y L, Sun D Z, Chen S Z and Qu W J. 1994. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites[J]. *Acta Geologica Sinica*, 68(4): 339-347 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, Zhao D M, Wang S X, Sun D Z and Liu D Y. 2001. Precise Re-Os dating for molybdenite by ID-NTIMS with carius tube sample preparation[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 20(4): 247-252 (in Chinese with English abstract).
- Du A D, Wu S Q, Sun D Z, Wang S X, Qu W J, Richard M H, John M G and Dmitry M. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials molybdenite HLP and JDC[J]. *Geo-standard and Geoanalytical Research*, 28(1): 41-52.
- Du A D, Qu W J, Li C and Yang G. 2009. A Review on the development of Re-Os isotopic dating methods and techniques[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 28(3): 288-304 (in Chinese with English abstract).
- Gong Q S, Liu M Q and Li H L. 2002. The type and basic characteristics of Beishan orogenic belt, Gansu[J]. *Northwestern Geology*, 35(3): 28-34 (in Chinese with English abstract).
- Li J J. 2006. Regional metallogenic system of Alashan block in Inner Mongolia Autonomous region(dissertation for Doctor degree) [D]. Supervisor: Zhai Y S. Beijing: China University of Geosciences. 126-133 (in Chinese with English abstract).
- Li S Q, Zhang W J and Geng M S. 1998. Introduction to geology of Mongolian arc tectonic and its evolution[M]. Beijing: Geol. Pub. House. 104, 111-112 (in Chinese with English abstract).
- Nie F J, Jiang S H, Zhao X M, Bai D M, Liu Y, Zhao Y M, Wang X L and Su X X. 2002. Geolo-features and meta[I]ogenic type of the Liushashan gold (molybdenum) deposit in Ejinqi, western Inner Mongolia[J]. *Geology Geochemistry*, 30(1): 1-7 (in Chinese with English abstract).
- Nie F J, Qu W J, Liu Y, Du A D and Jiang S H. 2005. Re-Os isotopic age dating of molybdenite separates from Elegen porphyry M(Cu) mineralized area, northwestern Alxa, western Inner Mongolia[J]. *Mineral Deposits*, 24(6): 638-646 (in Chinese with English abstract).
- Peng J G, Zhang F R and Zhao F C. 2006. Divisions and contrast of basic features of metallogenic belts in Beishan area of Gansu-Xinjiang-Iner Mongoli[J]. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 28(3): 11-18 (in Chinese with English abstract).
- Qu W J and Du A D. 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with carius tube sample digestion[J]. *Rock and Mineral Analysis*, 22(4): 254-257 (in Chinese with English abstract).
- Shao J A, Zhang L Q and Mu B L. 1999. Magmatism in the Mesozoic extending orogenic process of Daxingan Mts[J]. *Earth Science Frontiers*, 6(4): 339-346 (in Chinese with English abstract).
- Wang Q, Liu X Y and Li J Y. 1991. Plate tectonics between Cathaysia and Angaraland in China[M]. Beijing: Peking University Press. 74-91 (in Chinese with English abstract).
- Yang H Q, Li Y, Yang J G, Li W R, Yang L H, Zhao G B, Ye D J, Zhao Y Q, Zhao J G, Shen C L, Wang X L and Su X X. 2006. Main Metallogenic Characteristics in the Beishan Orogen [J]. *Northwestern Geology*, 39(2): 78-95 (in Chinese with English abstract).
- Zuo G C and He G Q. 1990. Plate tectonics and metallogenic regulaties in Beishan region[M]. Beijing: Peking University Press (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 杜安道,何红蓼,殷宁万,邹晓秋,孙亚利,孙德忠,陈少珍,屈文俊. 1994. 辉钼矿的铼-钨同位素地质年龄测定方法研究[J]. *地质学报*, 68(4): 339-347.
- 杜安道,赵敦敏,王淑贤,孙德忠,刘敦一. 2001. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钨同位素地质年龄[J]. *岩矿测试*, 20(4): 247-252.
- 杜安道,屈文俊,李超,杨刚. 2009. 铼-钨同位素定年方法及分析测试技术的进展[J]. *岩矿测试*, 28(3): 288-304.
- 龚全胜,刘明强,李海林. 2002. 甘肃北山造山带类型及基本特征[J]. *西北地质*, 35(3): 28-34.
- 李俊建. 2006. 内蒙古阿拉善地块区域成矿系统(博士学位论文) [D]. 导师: 翟裕生. 北京: 中国地质大学. 126-133.
- 李述靖,张维杰,耿明山. 1998. 蒙古弧形地质构造特征及形成演化概论[M]. 北京: 地质出版社. 104, 111-112.
- 聂凤军,江思宏,赵省民,白大明,刘妍,赵月明,王新亮,苏新旭. 2002. 内蒙古流沙山金(钼) 矿床地质特征及矿床类型划分[J]. *地质地球化学*, 30(1): 1-7.
- 聂凤军,屈文俊,刘妍,杜安道,江思宏. 2005. 内蒙古额勒根班岩型钨(铜) 矿化区辉钼矿铼-钨同位素年龄及地质意义[J]. *矿床地质*, 24(6): 638-646.
- 彭巨贵,张发荣,赵福昌. 2006. 甘蒙北山地区成矿带划分和基本特征对比[J]. *地球科学与环境学报*, 28(3): 11-18.
- 屈文俊,杜安道. 2003. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钨地质年龄[J]. *岩矿测试*, 22(4): 254-257.
- 邵济安,张履桥,牟保磊. 1999. 大兴安岭中生代伸展造山过程中的岩浆作用[J]. *地学前缘*, 6(4): 339-346.
- 王荃,刘雪亚,李锦轶. 1991. 中国华夏与安加拉古陆间的板块构造[M]. 北京: 北京大学出版社. 74-91.
- 杨合群,李英,杨建国,叶得金,赵彦青,赵建国,李文明,杨林海,赵国斌,沈存利,王新亮,苏新旭. 2006. 北山造山带的基本成矿特征[J]. *西北地质*, 39(2): 78-95.
- 左国朝,何国琦. 1990. 北山板块构造及成矿规律[M]. 北京: 北京大学出版社.