

# 内蒙古北山地区小狐狸山钼矿辉钼矿 Re-Os 年龄 和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄

张雨莲<sup>1</sup>, 许荣科<sup>2</sup>, 陕 亮<sup>3</sup>, 贾群子<sup>1</sup>, 宋忠宝<sup>1</sup>,  
陈向阳<sup>1</sup>, 张晓飞<sup>1</sup>, 陈 博<sup>1</sup>, 栗亚芝<sup>1</sup>, 全守村<sup>1</sup>

ZHANG Yu-lian<sup>1</sup>, XU Rong-ke<sup>2</sup>, SHAN Liang<sup>3</sup>, JIA Qun-zi<sup>1</sup>, SONG Zhong-bao<sup>1</sup>,  
CHEN Xiang-yang<sup>1</sup>, ZHANG Xiao-fei<sup>1</sup>, CHEN Bo<sup>1</sup>, LI Ya-zhi<sup>1</sup>, QUAN Shou-cun<sup>1</sup>

1. 中国地质调查局西安地质调查中心, 陕西 西安 710054;

2. 中国地质大学(武汉)地质调查研究院, 湖北 武汉 430074;

3. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037

1. Xi'an Center of Geological Survey, China Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

2. Institute of Geological Survey, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

3. Development Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China

**摘要:**小狐狸山钼矿是内蒙古北山地区近年来新发现的一个中型规模的斑岩型矿床。通过对成矿斑岩锆石和成矿晚阶段石英脉型钼矿的同位素研究, 获得小狐狸山含矿花岗岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄  $216.9\text{Ma} \pm 0.5\text{Ma}$  (MSWD=0.41), 与斑岩型钼矿化的时间  $220\text{Ma} \pm 2.2\text{Ma}$  在误差范围内基本一致, 为该矿床主要为一个斑岩型钼矿床提供了同位素年代学的佐证; 晚成矿阶段辉钼矿单矿物 Re-Os 模式年龄加权平均值为  $213.2\text{Ma} \pm 4.6\text{Ma}$  (MSWD=1.3)。小狐狸山钼矿床成矿岩体的展布受控于沿黑河展布的北东东向构造, 该组构造切割了早期形成的北西向区域构造, 暗示 216~220Ma 为北山地区由后碰撞进入板内伸展环境提供了初步的年龄约束, 北山地区印支期的成矿作用值得重视。

**关键词:**成岩成矿时代; 小狐狸山钼矿床; 印支期; 内蒙古北山地区

中图分类号: P597<sup>+.3</sup>

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2012)02/03-0469-07

Zhang Y L, Xu R K, Shan L, Jia Q Z, Song Z B, Chen X Y, Zhang X F, Chen B, Li Y Z, Quan S C. Rock-forming and ore-forming ages of the Xiaohulishan molybdenum deposit in Beishan area, Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 2012, 31(2/3): 469-475

**Abstract:** The Xiaohulishan molybdenum deposit is a medium-size concealed porphyry molybdenum deposit recently discovered in Beishan area, Inner Mongolia. The authors studied isotopes of the ore-bearing porphyries and the quartz vein type molybdenum deposit in late mineralization stage, and obtained the zircon LA-ICP-MS U-Pb age of  $216.9\text{Ma} \pm 0.5\text{Ma}$  (MSWD=0.41) for Xiaohulishan porphyry granite, which is close to the Re-Os model age of  $213.2\text{Ma} \pm 4.6\text{Ma}$  (MSWD=1.3) for molybdenite, thus providing isotope age evidence for porphyry genesis of the Xiaohulishan molybdenum deposit. The molybdenite Re-Os isotope age in late metallogenic stage is  $213.2\text{Ma} \pm 4.6\text{Ma}$  (MSWD=1.3). The ore-forming porphyry of the Xiaohulishan Mo deposit was distributed along the Heihe River which was controlled by NEE-trending faults that cut the early NW-trending regional structure, implying that 216-220Ma was the age restriction for the evolution of the post-collision stage to the intraplate extension stage in Beishan area. Importance should be attached to mineralization in Indosinian period in Beishan area.

**Key words:** rock-forming and ore-forming age; Xiaohulishan molybdenum deposit; Indosinian period; Beishan area, Inner Mongolia

收稿日期: 2011-03-04; 修订日期: 2012-02-06

资助项目: 中国地质调查局地质调查项目《青海省岩浆岩时空分布与成矿作用研究》(编号: 1212011121089)

作者简介: 张雨莲(1984-), 女, 助理研究员, 矿产普查与勘探专业。E-mail: zhop321@163.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

在甘肃—内蒙古北山北带的黑鹰山—圆包山一带,分布有流沙山钼金矿、额勒根乌兰乌拉钼铜矿、乌珠尔嘎顺铁矿、黑鹰山铁矿、小狐狸山钼矿床等;在毗邻的蒙古国南戈壁,发现了欧玉陶勒盖大型斑岩铜金矿和查干苏布尔加大型斑岩铜钼矿床,显示了该区可观的找矿潜力。

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<sup>[1-2]</sup>,也有人认为至少部分钨钼金矿化可能与燕山期黑河沿线板内裂陷作用有关<sup>[3]</sup>。由于地处边境戈壁,缺水,黄沙覆盖,边境地区出入不便等,这一带矿床的地质研究程度大多较低,可靠的岩石和矿床年龄较少,不利于对该带地质规律和成矿规律的总结研究。

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 77km 处。2005—2007 年,内蒙古地调院进行了详细的地质勘查工作,使小狐狸山矿床由一个小型矿点一跃而成为具有中型规模的隐伏斑岩型钼矿床<sup>①</sup>。彭振安等<sup>[4]</sup>获得小狐狸山钼矿 Re—Os 模式年龄 216.3~220.1Ma, 等时线年龄 220Ma ± 2.2Ma, MSWD=0.54, <sup>187</sup>Os 初始值为 0.23±0.3, 给出了狐狸山矿床斑岩成矿的年龄约束。但对斑岩体的结晶年龄和后期石英脉型成矿年龄仍缺乏约束,成岩成矿的构造环境指示意义也有待进一步探索。笔者在开展西部成矿带选区研究项目的过程中,曾研究了该矿床的资料,并在野外对地表地质和钻孔见矿情况进行了认真的观察,在此基础上采取了相关样品,开展小狐狸山钼矿床同位素年代学研究,为该区域进一步开展的钼矿床找矿勘查提供基础资料。

## 1 区域地质背景

内蒙古北山及邻区的主体是哈萨克斯坦板块的东延部分,在区域上属天山—兴安造山系的组成部分<sup>[5-6]</sup>。该板块的北侧为西伯利亚板块,南和东南侧分别为塔里木和华北板块。哈萨克斯坦板块的东延部分自北向南大体可划分为 3 个部分,即北部陆缘活动带、马鬃山中间地块和南部陆缘活动带。在本区的最北侧分布有西伯利亚板块的雀儿山—乌珠尔嘎顺地体,小狐狸山钼矿床即位于该区内。从北山 5 级成矿带划分来看<sup>②</sup>,小狐狸山钼矿床所在地区属于圆包山—小狐狸山钼铁五级成矿带,成矿带范围内出露的岩层(体)主要为奥陶系、志留系火山—沉积岩和海西期花岗岩类侵入岩,局部地段见有泥盆系沉

积岩,属活动陆缘岛弧构造环境。

## 2 矿床地质特征

小狐狸山矿区(图 1)内出露的地层主要为下奥陶统碎石山组碎屑岩,其次为中奥陶统咸水湖组中基性火山岩和下奥陶统罗雅楚山组(局部地段为乌兰布拉格组)沉积岩。海西—印支期辉长岩、闪长岩、石英闪长岩、花岗闪长岩和花岗岩构成的杂岩体分布广泛,其中小狐狸山含矿花岗质杂岩呈岩株出现,南北长 2.7km,东西宽 0.8~1.5km,出露面积约 4km<sup>2</sup>,为本区最重要的含矿岩体。区内近东西向、北东向、北西向和近南北向断裂构造十分发育,含矿岩体产在近东西向和北东向断层的交会部位。

小狐狸山含矿杂岩体岩相分带明显,自外向内、从上到下分别见有似伟晶岩、云英岩、钠长石化似斑状花岗岩和钠长石化花岗岩相。钼、铅、铋、钽和稀土金属矿化多在各岩相带交接部位产出,分布范围大小、品位高低与杂岩体热液蚀变(硅化、云英岩化和钠长石化)的强度、规模呈正相关关系。铅、钼矿化带大都沿岩体与围岩接触带分布,出露面积为 0.5~3 km<sup>2</sup>。稀土元素矿化也环绕岩体产出,矿化面积可达十余平方千米。铋和钽矿化在岩体的顶部或核部产出,矿化带面积为 1~3km<sup>2</sup>。各矿化带内所见金属矿物主要有辉钼矿、方铅矿、钼铅矿、黄铁矿、锐铁金红石、钛铁矿、钛铁金红石、磁铁矿、锐钛矿、硅钙铀矿和磷钼矿,脉石矿物有黄玉、萤石、电气石、铁锂云母、铜铀云母、钍铀云母和磷灰石。稀有多金属矿石中 Pb 含量变化范围为 0.1%~2.6%,平均为 0.5%; Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 0.41%~0.91%,平均 0.56%; Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 为 0.01%~0.05%,平均 0.02%。根据对该矿体岩心的观察,钼矿化具有 2 个成矿阶段,早阶段主要为产于斑岩体中的细脉浸染状矿化,晚阶段矿化则分布于岩体局部或岩体外围,产于石英脉中。

## 3 样品采集和测试

(1)样品采集:花岗岩锆石 LA-ICP-MS U—Pb 定年样品采自小狐狸山矿化花岗岩矿心。据镜下观察,岩石具中细粒似斑状结构、块状构造,斑晶由正长石和石英组成,基质由长石和石英组成。用于 Re—Os 同位素模式年龄测年的样品采自厚度最大的西区矿体内的辉钼矿石英脉中(采样位置见图 1),辉钼矿呈浸染状、星点状分布在矿石中,矿石类

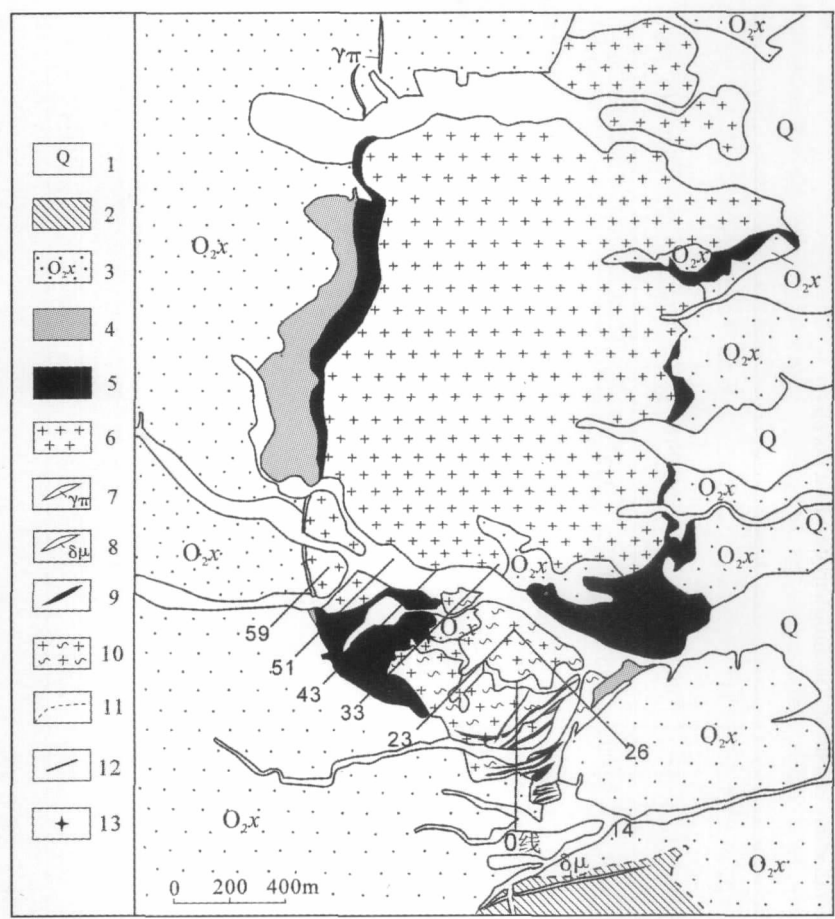


图 1 内蒙古北山地区小狐狸山钼矿区地质略图(据参考文献①,略有修改)

Fig. 1 Simplified regional geological map of the Xiaohulishan molybdenum deposit in Beishan area, Inner Mongolia

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;13—采样点

型属于石英脉型矿石。

(2)辉钼矿 Re-Os 同位素测试: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<sup>[7-9]</sup>。含 Re 溶液中盐量超过 1 mg/mL 时,需采用阳离子交换柱除去 Na<sup>[10]</sup>。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(1991)计算机软件进行处理,并且获得同位素模式年龄,计算过程

中所采用的衰变常数为  $\lambda(^{187}\text{Re})=1.666\times 10^{-11}\text{a}^{-1}$ 。

(3)LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测试:样品中锆石挑选在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成。先后经颞式粉碎机粗碎、细磨过筛、摇床或手淘并在双目镜下挑选等过程。将挑选好的锆石用环氧树脂固定,待环氧树脂充分固定后,对样品进行抛光,使锆石最大面积地露出。而后,进行透射光、反射光下的显微照相(在北京离子探针中心完成)和阴极发光下的锆石图像观察与拍照,以确定适合分析的锆石颗粒和分析点的位置。

锆石 U-Pb 同位素分析在中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室进行,用 LA-ICP-





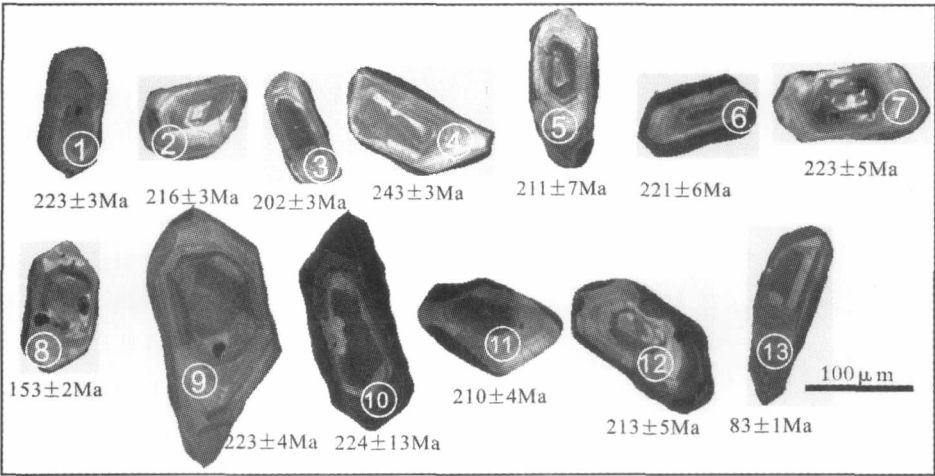


图 2 小狐狸山花岗岩锆石阴极发光图像、分析点位和  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄  
Fig. 2 CL photomicrographs, measured points and age data ( $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ )  
of zircons from the Xiaohulishan molybdenum ore deposit

MS 进行分析, 激光剥蚀孔径  $32\mu\text{m}$ , 脉冲  $8\text{Hz}$ , 以 He 作为剥蚀物质载气。样品分析流程为每测定 5 个样品点测定一次锆石标准 91500<sup>[11]</sup>, 在开始测量和测定结束后分别测定 Nist610、91500、GJ-1、CHEM、YS-1 等标样。每个样品点的数据采集时间共 100s, 其中前 20s 为气体背景采集时间。离线数据采用 GLITTER 4.0 程序分析处理。年龄加权平均值计算和谐和图的绘制采用 ISOPLOT(ver3.00)<sup>[12]</sup>完成。

4 测试结果与讨论

4.1 测年结果

(1) 锆石 U-Pb 年龄: 锆石 U-Pb 同位素分析结果见表 1。表 1 中列出了小狐狸山花岗斑岩体的锆石 LA-ICP-MS Pb-U 年龄测定数据。所测锆石为挑选出的半透明短柱状锆石, 长为  $100\sim 200\mu\text{m}$ , 晶体柱面平直发育。图 2 为被测锆石的阴极发光(CL)图像、测定点位和相应的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄。由阴极发光图像可见, 锆石内部均显示较清晰的韵律环带结构, 是典型的岩浆结晶锆石。根据表 1 数据, 其中 9 个点的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄接近, 较均匀地分布于  $210\sim 224\text{Ma}$  之间, 其余分析点得出的年龄较为分散, 部分年龄偏低的点可能是不同程度的铅丢失造成的。由 Isoplot 软件进行计算, 获得了  $216.9\text{Ma}\pm 0.5\text{Ma}$

表 2 小狐狸山钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素数据  
Table 2 Molybdenite Re-Os isotope determination results  
of the Xiaohulishan molybdenum ore deposit

样品编号	样重/g	$^{187}\text{Re}/\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$		$^{187}\text{Os}/\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$		模式年龄/Ma	
		测定值	1 $\sigma$	测定值	1 $\sigma$	测定值	1 $\sigma$
080623-1	0.0503	9.868	0.091	35.45	0.31	215.3	3.2
080623-2	0.0502	7.055	0.074	25.03	0.25	212.6	3.5
080623-3	0.0508	10.96	0.082	38.73	0.38	211.8	3.1

( $\text{MSWD}=0.41$ , 95%可信度)的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  谐和年龄, 年龄加权平均值为  $216.8\text{Ma}\pm 0.02\text{Ma}$ ( $\text{MSWD}=2.3$ , 95%的可信度), 与谐和年龄基本一致(图 3)。这说明本次使用锆石 U-Pb 定年法测定的年龄代表了小狐狸山花岗岩体的形成年龄。

(2) 辉钼矿 Re-Os 年龄: 小狐狸山钼矿床 3 个辉钼矿样品的 Re-Os 同位素测试结果如表 2 所示。从表 2 可见, 3 件辉钼矿样品得到的模式年龄十分接近, 为  $(215.3\pm 3.2)\sim (211.8\pm 3.1)\text{Ma}$ , 加权平均值为  $(213.2\pm 4.6)\text{Ma}$ 。彭振安等<sup>[4]</sup>获得小狐狸山钼矿 Re-Os 模式年龄为  $216.3\sim 220.1\text{Ma}$ , 等时线年龄为  $(220\pm 2.2)\text{Ma}$ , 在误差范围内与本次的结果是一致的, 从而佐证了本次测算数据结果是可靠的。

4.2 结果讨论

本次对与成矿关系密切的花岗斑岩体测得的锆石 U-Pb 年龄主要变化在  $210\sim 224\text{Ma}$  之间, 平均值为  $216.9\text{Ma}\pm 0.5\text{Ma}$ ( $\text{MSWD}=0.41$ )。这一年龄与彭振

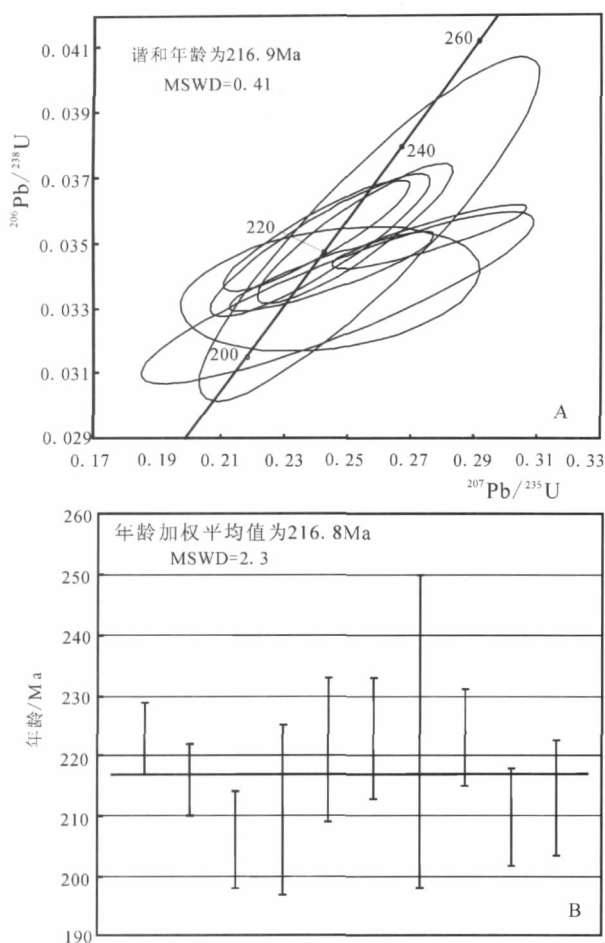


图3 小狐狸山钼矿花岗岩体锆石 U-Pb 谐和图(A) 和  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄图(B)

Fig. 3 U-Pb concordia age diagrams of zircons from granitic rocks in the Xiaohulishan molybdenum ore deposit

安等<sup>[4]</sup>获得的斑岩型矿化的辉钼矿 Re-Os 模式年龄216.3~220.1Ma 和平均值(220±2.2)Ma 在误差范围内基本一致。聂凤军等<sup>[5]</sup>的辉钼矿 Re-Os 测试值(220±2.2)Ma 代表了斑岩型矿化的时间,但锆石测年平均值略低于彭振安等<sup>[4]</sup>的辉钼矿 Re-Os 年龄。锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 在斑岩型矿床测年中不一致,甚至成矿年龄略大于成岩年龄的现象在欧玉陶勒盖大型斑岩铜金矿的测年中也曾出现过。例如在欧玉陶勒盖矿化的石英二长闪长玢岩中测得的锆石 U-Pb 年龄为 362Ma±2Ma,低于 2 件辉钼矿样品的 Re-Os 年龄值(372Ma±1.2Ma 和 373Ma±1.2Ma)<sup>[13]</sup>。这种差异可能与不同分析方法造成的误差或矿化过程中锆石 Pb 的丢失有关。因此本次工

作的锆石 U-Pb 年龄仍基本可以代表斑岩结晶的时间。结晶年龄和成矿年龄近于一致,从同位素年代学方面给出了该矿床主要是一个斑岩型矿床的佐证。本次测得的石英脉中辉钼矿 Re-Os 年龄平均值 213.2Ma±4.6Ma (MSWD=1.3) 代表了石英脉型辉钼矿化发育的时间,该值略低于斑岩中锆石的 U-Pb 平均年龄值 216.9Ma±0.5Ma (MSWD=0.41) 和聂凤军等<sup>[5]</sup>的辉钼矿 Re-Os 年龄平均值(220±2.2)Ma,与野外观察到的石英脉型矿化晚于斑岩型矿化的现象相一致。说明测年结果是可靠的。斑岩型矿化与石英脉型矿化发生的时间相差小于 7Ma,也符合一般与岩浆相关的热液矿化发生时间不晚于岩体结晶年龄 7Ma 的规律<sup>[14]</sup>。上述测年资料相互印证,反映小狐狸山钼矿床成岩成矿时间均发生在印支期。

小狐狸山钼矿床处于北山北带内,属于复杂的古亚洲洋多岛弧盆系统的一部分,在晚古生代泥盆纪—石炭纪的俯冲碰撞消减及之后的后碰撞阶段过程中,该带具有岛弧特征的火山岩系在这一带极其发育,从而形成了一系列的矽卡型铁铜或斑岩型铜(钼)矿床<sup>②</sup>。主要有本区的乌珠尔嘎顺矽卡岩型铁—铜矿床、额勒根斑岩型钼(铜)矿化区(332.0±9)Ma、黑鹰山火山岩型铁矿床(322.0±4.3)Ma<sup>[3]</sup>、流沙山钼—金矿(260.0±10)Ma、交叉沟金矿(斜长花岗岩 236.8Ma±5.4Ma)<sup>[11]</sup>、查干础鲁金矿(234.0±4.9)Ma<sup>[15]</sup>、呼伦西白金矿(231.0±8.4)Ma<sup>[15]</sup>、阿达日嘎金矿、珠斯楞铜矿(249.0±45)Ma<sup>[15]</sup>、东天山土屋铜矿(333±2)Ma<sup>[16]</sup>、蒙古国的欧玉陶勒盖大型斑岩铜金矿床(372Ma)<sup>[13,17]</sup>、查干苏布尔加斑岩铜(钼)矿床<sup>[18]</sup>等。

从上述矿床的测年结果来看,有一系列 249~213Ma 之间的年龄分布,说明该带印支期成矿作用历时较长,在后期找矿中应重视印支期的成矿作用。另外,小狐狸山钼矿床的成矿年龄 213Ma 是众多成矿时代中最年轻的矿化时间,小狐狸山含矿岩体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,Rb-Y+Nb 等图解判别均属于板内环境<sup>[19]</sup>。构造分析显示,包括小狐狸山一带在内的黑河一线北北东向构造极其发育,小狐狸山矿床所在的斑岩体和矿体的空间展布也指示受到北北东向构造的控制,而黑河一带更早期的构造可能是北西向的<sup>[4]</sup>,暗示小狐狸山斑岩和钼矿床的测年值初步给出了北山地区由后碰撞转入板内伸展阶段的年龄约束,当然这还需要更近一步研究工作的支持。

## 5 结 论

(1) 小狐狸山花岗斑岩的锆石 U-Pb 年龄为  $216.9\text{Ma} \pm 0.5\text{Ma}$  ( $\text{MSWD}=0.41$ ), 基本代表了斑岩的结晶年龄和斑岩型钼矿化的时间。辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为  $213.2\text{Ma} \pm 4.6\text{Ma}$  ( $\text{MSWD}=1.3$ ), 代表了石英脉型钼矿化的形成时间。小狐狸山矿床成岩成矿作用均发生于印支期。

(2) 小狐狸山钼矿床成矿岩体的展布受控于沿黑河展布的北北东向构造, 该组构造切割了早期形成的北西向区域构造。小狐狸山钼矿斑岩体结晶年龄初步提供了区内进入板内伸展环境的年龄约束。

(3) 北山北带一系列印支期矿床的分布, 提示今后应加强该带印支期矿床的找矿工作。

致谢: 野外工作过程中得到内蒙古地矿局郭辉工程师等的帮助, 在野外工作和成文过程中得到中国地质大学郑有业教授的指导, 在此一并致谢。

## 参考文献

- [1] 聂凤军, 江思宏, 赵省民, 等. 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, 2002, 30(1): 1-7.
- [2] 聂凤军, 屈文俊, 刘妍, 等. 内蒙古额勒根斑岩型钼(铜)矿化区辉钼矿铼-钼同位素年龄及地质意义[J]. 矿床地质, 2005, 24(6): 638-646.
- [3] 许荣科. 甘蒙北山铜金矿床成矿规律及成矿预测[D]. 武汉: 中国地质大学博士学位论文, 2010: 112-153.
- [4] 彭振安, 李红红, 屈文俊, 等. 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[J]. 矿床地质, 2010, 29(3): 510-516.
- [5] 聂凤军, 江思宏, 白天明, 等. 北山地区金属矿床成矿规律及找矿方向[M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- [6] 刘雪亚. 甘肃北山区的钙碱系列岩浆活动及其与板块构造的关系[J]. 中国地质科学院院报, 1984, 10: 151-165.
- [7] 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 等. 辉钼矿的铼-钼同位素地质年龄测定方法研究[J]. 地质学报, 1994, 68(4): 339-347.
- [8] 杜安道, 赵敦敏, 王淑贤, 等. Carius 管溶样和负离子热表面电离质谱准确测定辉钼矿铼-钼同位素地质年龄[J]. 岩矿测试, 2001, 20(4): 247-252.
- [9] 杜安道, 屈文俊, 李超, 等. 铼-钼同位素定年方法及分析测试技术的进展[J]. 岩矿测试, 2009, (3): 288-304.
- [10] 屈文俊, 杜安道. 高温密闭溶样电感耦合等离子体质谱准确测定辉钼矿铼-钼地质年龄[J]. 岩矿测试, 2003, 22(4): 254-257.
- [11] Wiedenbeck M, Alle P, Corfu F, et al. Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element and REE analyses[J]. Geostand News, 1995, 19: 1-23.
- [12] Ludwig K R. Isoplot—A plotting and regression program for radiogenic-isotope data[J]. U S Geological Survey Open-File Report, 1991, 39: 91-445.
- [13] Khashgerel, Bat-Erdene, et al. Geology and reconnaissance stable isotope study of the Oyu Tolgoi porphyry Cu-Au system, south Gobi, Mongolia[J]. Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists, 2006, 101(3): 503-522.
- [14] 谭俊, 魏俊浩, 谭文娟, 等. 同源岩浆成因金矿成矿时差的统计研究[J]. 地质论评, 2006, (1): 54-62.
- [15] 李俊建. 内蒙古阿拉善地块区域成矿系统[D]. 北京: 中国地质大学博士学位论文, 2006: 126-133.
- [16] 刘德权, 陈毓川, 王登红, 等. 土屋-延东铜钼矿田与成矿有关问题的讨论[J]. 矿床地质, 2003, 22(4): 334-344.
- [17] 方维萱, 杨社锋, 刘正桃, 等. 蒙古查干苏布尔加(Tsagaan Suvarga)大型斑岩型铜钼矿床含矿蚀变岩常量、微量和稀土元素地球化学特征及意义[J]. 中国稀土学报, 2007, 25(1): 85-93.
- [18] 张义, 聂凤军, 江思宏. 中蒙边境欧玉陶勒盖大型铜-金矿床的发现及对找矿勘查工作的启示[J]. 地质通报, 2003, 22(9): 708-712.
- [19] 彭振安, 李红红, 张诗启, 等. 内蒙古北山地区小狐狸山钼矿成矿岩体地球化学特征研究[J]. 地质与勘探, 2010, 46(2): 291-298.
- ① 周文川, 等. 内蒙古额济纳旗小狐狸山矿区钨钼矿详查报告. 2008.
- ② 许荣科, 等. 西部重要成矿带选区研究成果报告. 2009.