

# 内蒙古北山地区斑岩型钼矿的成岩成矿时代和形成环境探讨

杨岳清<sup>1)</sup>, 赵金花<sup>1)</sup>, 孟贵祥<sup>1)</sup>, 严加永<sup>1)</sup>, 吕博<sup>2)</sup>,  
王守光<sup>3)</sup>, 贾玲珑<sup>3)</sup>, 韩建刚<sup>3)</sup>

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

2) 中国地质大学(北京), 北京 100083;

3) 内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古呼和浩特 010020

**摘要:** 内蒙古北山地区近年来发现了一条近东西向的斑岩型钼(铜)矿带, 其中规模较大的矿床有流沙山、额勒根乌兰乌拉和小狐狸山钼矿, 这3个矿床的辉钼矿 Re-Os 同位素等时线测年分别为(260±10) Ma(中二叠世)、(332.0±9.0) Ma(早石炭世晚期)和(220.0±2.2) Ma(晚三叠世), 显然, 不同的成矿时代, 反映了矿床形成的环境不同。本文在补充与成矿有关斑岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄和岩石、矿石地球化学工作基础上, 从区域地壳演化角度分别揭示了3个矿床形成的地质环境。在早古生代时期, 3个矿床的原始位置均处于哈萨克斯坦板块中, 到晚古生代, 由于在红石山—百合山—蓬勃山一带裂谷发展成洋盆后, 流沙山钼矿所处位置被割裂到塔里木板块中, 额勒根乌兰乌拉和小狐狸山钼矿仍处于哈萨克斯坦板块中, 其中, 流沙山和额勒根乌兰乌拉钼矿床均处于南、北陆缘活动带的岛弧中, 由于俯冲机制及下伏基底的差别, 二岛弧中的构造岩浆活动有所不同, 塔里木北缘活动陆缘带中的岩浆活动异常强烈, 从石炭纪一直延续到二叠纪末, 成矿作用早期以铁为主, 晚期形成了钼(铜)矿产。哈萨克斯坦板块南侧陆缘带的岩浆活动稍逊于塔里木板块北缘, 而且主要集中于石炭纪, 并在这种环境形成了额勒根乌兰乌拉钼矿。二叠纪末, 北山地区分裂的板块又拼贴成统一的大板块, 从此, 北山地区进入到一个陆内地壳活动环境, 拉伸-挤压构造和由此引发的偏酸-偏碱性的岩浆侵入活动成为中生代地壳活动特色方式, 小狐狸山钼矿及稀有金属矿床就是在这种环境中产生的。

**关键词:** 斑岩型; 成矿时代; 锆石 SHRIMP U-Pb 法定年; 成矿环境; 地球化学; 北山地区

中图分类号: P618.65; P597 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2013.04.03

## Rock-forming and Ore-forming Ages as well as Formation Environments of Porphyry Molybdenum Deposits in Beishan Area, Inner Mongolia

YANG Yue-qing<sup>1)</sup>, ZHAO Jin-hua<sup>1)</sup>, MENG Gui-xiang<sup>1)</sup>, YAN Jia-yong<sup>1)</sup>,  
LÜ Bo<sup>2)</sup>, WANG Shou-guang<sup>3)</sup>, JIA Ling-long<sup>3)</sup>, HAN Jian-gang<sup>3)</sup>

1) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2) China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083;

3) Geological Survey Institute of Inner Mongolia, Hohhot, Inner Mongolia 010020

**Abstract:** A nearly EW-trending molybdenum (copper) ore belt was found in Beishan area of Inner Mongolia. The relatively large deposits in this belt include Liushashan molybdenum deposit, Elegenwulanwula molybdenum

本文由国家科技支撑计划(编号: 2006BAB01A09)资助。

收稿日期: 2012-07-14; 改回日期: 2013-01-28。责任编辑: 魏乐军。

第一作者简介: 杨岳清, 男, 1941 生。研究员。长期从事矿床学、岩石学和地球化学工作。E-mail: yangyueqing0@sina.com。

deposit and Xiaohulishan molybdenum deposit. Re-Os isotope dating of molybdenite samples from these three deposits yielded isochron ages of  $(260\pm 10)$  Ma (Middle Permian), 332.0 Ma (Early Carboniferous) and 220 Ma (Late Triassic) respectively. Obviously, different metallogenic epochs reflect different environments for the formation of these deposits. Based on new SHRIMP zircon U-Pb age data of the porphyry related to mineralization as well as basic rock and ore geochemical work, the authors revealed the formation environments of the three deposits from the angle of regional crustal evolution. In the Early Paleozoic, the three deposits were in Kazakhstan plate, and in the Late Paleozoic, due to the development of Hongshishan-Baiheshan-Pengboshan area from rift valley to ocean basin, the position of the Liushashan molybdenum deposit was split into the Tarim plate. Due to the difference in subduction mechanism and underlying basement, tectono-magmatic activities were somewhat different in two island arcs. In active marginal belt of north Tarim plate, magmatic activity was unusually strong and lasted from Carboniferous to the end of Permian. In the early stage, mineralization was dominated mainly by iron, and molybdenum (copper) deposits were formed in the late stage. Magmatic activity of the marginal belt in south Kazakhstan plate was a bit weaker than that in the northern marginal belt of Tarim plate, and the magmatic activity was mainly concentrated in Carboniferous; in such an environment, the Elegenwulanwula molybdenum deposit was formed. At the end of Permian, the split plate of Beishan area became a unified plate again through collage. From that time on, Beishan area entered into an environment of intra-continental crustal activity, and stretching-extrusion structure and meta-acid and meta-alkaline magmatic intrusion constituted an important style of Mesozoic crustal activity; in such an environment, the Xiaohulishan molybdenum deposit and some rare metal deposits were formed.

**Key words:** porphyry type; ore-forming age; zircon SHRIMP U-Pb dating; ore-forming environment; geochemistry; Beishan area

21 世纪以来, 内蒙古北山地区在区域基础地质和成矿规律研究中, 获得重大进展(聂凤军等, 2002a, 2003a; 杨合群等 2008), 特别在钼矿的找矿和研究中成果更为突出, 目前已确定经济价值较大的钼矿床有流沙山、额勒根乌兰乌拉、小狐狸山等。经前人工作(聂凤军等, 2002b, 2005; 彭振安等, 2010a, b; 沈存利等, 2010), 这些矿床均属斑岩型, 空间上靠近中蒙边境, 并构成一近东西向分布的成矿带(图 1)。这些矿床中辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄已进行了较准确的测定, 但令人瞩目的是各矿床的年龄数据差别较大。例如, 流沙山钼矿的年龄为  $(260\pm 10)$  Ma(聂凤军等, 2002a), 也即中二叠世; 额勒根乌兰乌拉钼矿的年龄为  $(332.0\pm 9.0)$  Ma(聂凤军等, 2005), 也即早石炭世晚期; 小狐狸山钼矿的年龄为  $(220.0\pm 2.2)$  Ma(彭振安等, 2010a), 也即晚三叠世。显然, 成矿时间明显不同的这 3 个矿床, 在其成矿环境上也会是很不相同的, 但在同一成矿带中, 不同钼矿床的成矿环境为什么会有所不同? 它们和区域地壳的演化有何联系? 每个矿床是在区域地壳演化的什么阶段形成的? 由于前人对上述钼矿床的工作基本是围绕单一矿床的成矿作用而开展的, 3 个矿床的形成和区域地壳演化之间的联系均未涉及, 但这一问题在区域成矿规律研究中又是十分重要的。为此, 作者在证实各矿床中斑岩的形成和钼的成矿作用密不可分, 并补充钼矿赋存围岩的锆石 U-Pb 同位素

年龄基础上, 在此对上述问题首次进行讨论。

## 1 区域地质概况和主要矿床基本特征

流沙山钼矿、额勒根乌兰乌拉钼矿和小狐狸山钼矿均位于内蒙古最西部的额济纳旗北侧, 靠近中蒙边境, 空间上构成内蒙古北山地区近东西向钼多金属成矿带(图 1)。

在内蒙古境内, 北山区域大地构造, 总体可分成 5 个构造单元(图 1), 它们被蛇绿混杂岩带或大断裂带所分割。最南部的是营毛沱—鹰嘴红山早古生代被动陆缘带(Ⅰ), 向北依次为红柳河—洗肠井早古生代活动陆缘带(Ⅱ)、明水—石板井前寒武纪地块(Ⅲ), 北部的红石山—路井晚古生代岛弧带(Ⅳ)和雀儿山—小狐狸山晚古生代岛弧带(Ⅴ)是区内钼矿发育的构造带。其间也是为一条蛇绿混杂岩发育的古板块碰撞缝合带所分割, 它们是在石炭纪末, 大洋向两侧大陆形成双向俯冲所产生的。但两侧的俯冲岛弧带中, 目前出露的地层及岩性组合上还是有一定差异, 北部岛弧带中相对以出露较多早古生代地层-岩浆活动遗迹为特征, 而南部岛弧带中以出露较多晚古生代地层-岩浆活动遗迹为特征。

区内以花岗岩类为主的侵入岩分布广泛, 钼矿的形成和其中的中-浅成岩类关系密切。在 1:20 万区域地质调查报告中(甘肃省地质局地质力学区域测量队, 1977, 1979, 1981), 认为该地区的花岗岩以海

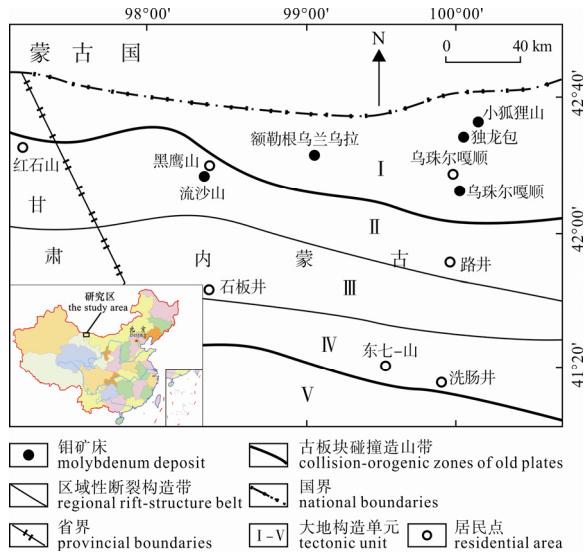


图 1 内蒙古北山地区构造格架及钼矿床分布图 (构造格架引自杨合群等, 2008)

Fig. 1 Sketch geological map of tectonic framework and molybdenum deposits distribution of Beishan area, Inner Mongolia (modified after YANG et al., 2008)

-雀儿山-小狐狸山晚古生代岛弧带; -红石山-路井晚古生代岛弧带; -明水-石板井前寒武系地块; -红柳河-洗肠井早古生代活动陆缘带; -营毛沱-鹰嘴红山早古生代被动陆缘带  
 I -Queershan- Xiaohulishan island arc belt of Late Palaeozoic;  
 II -Hongshishan-Lujing island arc belt of Late Palaeozoic;  
 III -Precambrian Mingshui-Shibanjing land mass;  
 IV -Hongliuhe-Xichangjing active continental margin belt of Early Palaeozoic; V -Yingmaotou-Yingzuihongshan passive epicontinental zone of Early Palaeozoic

西期占绝对优势。近年来随着地质工作的深入, 诸多岩体显示出是中生代同位素年龄(聂凤军等, 2003b; 殷先明, 2008a, b; 杜玉良等, 2009; 董英等, 2010; 吕博等, 2011), 特别是它们和稀有金属、钼、金等的成矿作用具有非常密切的关系, 这给本区找矿提供了更广阔的前景。

### 1.1 流沙山钼矿床

该矿床位于内蒙古北山钼成矿带最西端(图 1), 区内构造形迹除东西走向分布的构造、岩浆岩外, 在钼矿北部的黑鹰山铁矿还发育帚状构造, 它们对矿区褶皱和断裂的产生均起到一定制约作用。矿区内古生代地层出露广泛, 但最发育的是石炭系, 主体为海相碎屑岩及碳酸盐建造和中基性-中酸性火山岩建造, 其中, 火山岩占据了近一半厚度。海西期花岗岩类占据了矿区近 70% 以上的面积, 其岩性有黑云母斜长花岗岩、黑云母花岗闪长岩、黑云母二长花岗岩、石英闪长岩等, 侵入的地层均为下石炭统北山组。受成矿前环形构造控制, 钼矿体多以石英脉、钾长石脉和细脉浸染形式在黑云母花岗闪长岩中构成环状体, 矿体和围岩不存在明显界限, 说明矿体和岩体的形成有密切的成因联系。成矿期

的围岩蚀变主要为硅化和钾长石化。根据矿体产状和钼矿化特征, 聂凤军等人(2002b)将该矿成因类型定为与深成岩有关的斑岩型金-钼矿。

根据矿体中 6 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素等时线测年(聂凤军等, 2002a), 其钼矿化发生的时间为(260 ± 10) Ma。赋矿围岩(花岗闪长岩)中角闪石的 K-Ar 同位素年龄为 261~262 Ma。也即成岩、成矿时间基本上均为中二叠世。从矿体和闪长岩的过渡关系表明, 成岩和成矿是一个统一的连续过程。

### 1.2 额勒根乌兰乌拉钼矿床

该矿床位于西部的流沙山钼矿和东部的小狐狸山钼矿之间(图 1), 矿区内奥陶系至二叠系地层出露广泛, 但最发育的是奥陶系、志留系。

区域构造以北东、北西向褶皱和斜冲断层为主, 与它们伴生的北西、北东向扭性或张扭性断裂也较显著。

侵入岩分布广泛, 主要为海西中期的花岗岩浆活动产物, 侵入于上石炭统以下地层内, 岩石类型有石英闪长岩、斜长花岗岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、似斑状花岗闪长岩和花岗闪长斑岩等, 后二者是钼矿床最重要的容矿围岩, 侵位于奥陶系咸水湖组火山-沉积地层中。斑岩型钼(铜)矿化主要表现为在蚀变的海西期似斑状花岗闪长岩、花岗闪长斑岩中, 辉钼矿(黄铜矿)呈浸染状分布或以含辉钼矿(黄铜矿)石英细脉、方解石细脉分布, 该矿床的斑岩型特征基本为地质矿产工作者所公认。

据矿石中 5 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素分析数据, 其等时线年龄值为(332.0 ± 9.0) Ma(聂凤军等, 2005), 也即成矿作用发生在中石炭世晚期。

### 1.3 小狐狸山钼矿床

该矿床位于内蒙古北山钼成矿带最东端, 区内出露地层有奥陶系、志留系、石炭系和侏罗系。总体构成一个近东西走向的复式背斜构造, 其中, 东西走向的小褶皱和挤压性断层非常发育。

矿床内侵入岩主要为小狐狸山花岗岩, 它侵入于由奥陶系咸水湖组组成的褶皱核部, 呈椭圆形岩株, 面积约 4.05 km<sup>2</sup>, 岩体南端呈舌状超覆于奥陶系之上, 岩体南端厚 170~200 m, 往北逐渐加厚, 局部达 800 m, 在岩体不同深度多见有大小不等的奥陶系火山岩捕掳体。该岩体也是小狐狸山钼矿的赋矿岩体, 其中岩相分带明显, 钼矿体分布于岩体南部的边缘相和过渡相内, 矿石可分为云英岩型和斑岩型两类, 前者主要分布在地表及浅部, 后者主要分布在深部, 成矿矿物均为辉钼矿。

根据 6 件辉钼矿样品的 Re-Os 同位素测定, 其辉钼矿的等时线年龄为(220.0 ± 2.2) Ma (彭振安等,

2010a), 也即成矿作用发生在晚三叠世。对小狐狸山岩体, 杨帅师等(2012)曾获得一件单颗粒锆石 U-Pb 表面年龄数据, 为  $(246.8 \pm 1.7)$  Ma, 成岩和成矿年龄差较大, 其锆石的测试方法还值得商榷。

## 2 3个矿床中赋矿岩体和矿石地球化学

3个矿床中赋矿岩体和矿石化学成分如表1所示, 样号前冠有LSS者为流沙山钼矿资料, 引自聂凤军等(2002a); 样号前冠E的, 采自额勒根乌兰乌拉矿床; 冠X的, 采自小狐狸山矿床。后两个矿床样品分析由中国地质科学院国家地质实验测试中心承担, 主要元素用X荧光光谱仪(2100)分析, 微量元素用等离子质谱仪(X-series)分析。

### 2.1 流沙山钼矿床赋矿岩体和矿石地球化学

从赋矿岩体到矿体, 常量组分中, 最主要成分  $\text{SiO}_2$  含量总体变化不是太大, 但  $\text{Al}_2\text{O}_3$  随矿物成分的变化有较大幅度增高,  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{MnO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$  等基性组分总体有较大幅度减少。  $\text{K}_2\text{O}$  在矿石中随钾长石作为矿石中主要矿物成分的出现而有显著增加, 相反,  $\text{Na}_2\text{O}$  有较多减少。

稀土元素总量在花岗闪长岩中的含量明显高于钼矿脉, 虽然轻重稀土比值不论是在花岗闪长岩, 还是在钼矿脉中, 均是轻稀土含量高于重稀土, 但是在矿脉中, 轻重稀土比值明显降低(图2)。在  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  上, 也有类似特点。从花岗闪长岩到钼矿体伴随轻重稀土的变化, Eu 的亏损也明显增强, 在矿体中 Eu 谷的 V 型特征更明显。

总之, 从花岗闪长岩到矿体, 反映了在统一的岩浆-热液活动中, 其分异作用逐步增强的特点。

### 2.2 额勒根乌兰乌拉钼矿床赋矿岩体和矿石地球化学

表中的 E-29-2 样品采自矿区中部的似斑状花岗闪长岩的一岩枝, 样品中斜长石构成岩石的主要组成矿物, 环带结构发育, 钾长石很难见到, 角闪石

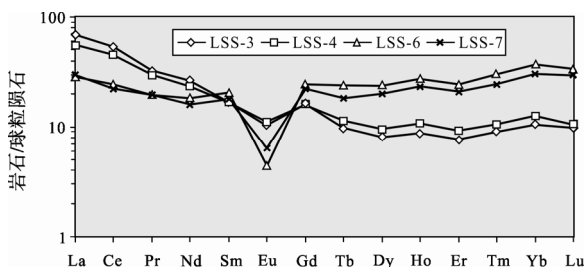


图2 流沙山钼矿床中花岗闪长岩和含钼、金钾长石脉稀土元素配分模式图(据聂凤军等, 2002a)

Fig. 2 Chondrite-normalized REE patterns for mimophyre granodiorite and mineralized rocks in the Xiaohulishan molybdenum deposit (after NIE et al., 2002a)

约占3%, 黑云母2%, 两种暗色矿物均有一定蚀变。

从主成分看,  $\text{SiO}_2$  含量与国内外较标准的花岗闪长岩(Rösler et al., 1972; 中国科学院地球化学研究所, 1977)相比明显偏低, 而  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MnO}$  等则普遍偏高, 接近于基性岩, 其基性程度也高于流沙山矿床的花岗闪长岩。

E-37-1 为蚀变弱矿化似斑状花岗闪长岩, 和 E-29-2 样品相比,  $\text{SiO}_2$  含量有明显增高, 相对应的是  $\text{TiO}_2$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MnO}$  等基性组分普遍有所减少,  $\text{K}_2\text{O}$  的增加, 主要体现在蚀变绢云母的增多。

E-1 为强蚀变矿化似斑状花岗闪长岩, 突出表现在岩石中的碳酸盐化和钠长石化十分发育, 在一定程度上掩盖了硅化和绢云母化, 挥发组分的含量也相对高于前二者, 基性组分的含量和 E-37-1 相比, 总体趋于降低。

图3是额勒根乌兰乌拉矿床中3个样品以里德6个球粒陨石稀土元素平均含量(陈德潜等, 1990)为背景值的配分模式图, 未蚀变的 E-29-2 样品稀土元素含量最高, 轻重稀土的分异作用也不强, LREE/HREE 和  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  值在3个样品中最低, Eu 的亏损也较小。随着岩石蚀变和钼含量的增高, 稀土含量趋于减少, 特别是重稀土有较强的迁移能力, 因此在模式图中(图3)曲线明显变陡, 但 Eu 变化不大, 甚至有相对富集特点。这和流沙山矿床有较大不同。

### 2.3 小狐狸山钼矿床中赋矿岩体和矿石地球化学

本次工作的3个样品中, X-1 是采自小狐狸山岩体中心相中粗粒似斑状弱钠长石化碱长花岗岩, 斑晶在岩石中可达20%, 主要由微斜长石组成, 其次是石英。X-15-2 是强蚀变并具辉钼矿化的花岗岩,

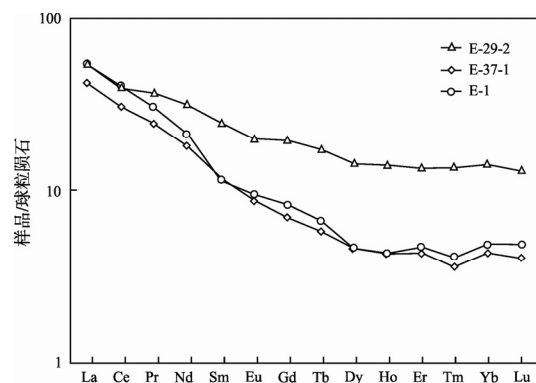


图3 额勒根乌兰乌拉钼矿床中似斑状花岗闪长岩和矿化岩石的稀土元素配分模式图

Fig. 3 Chondrite-normalized REE patterns for mimophyre granodiorite and mineralized rocks in the Elegenwulanwula molybdenum deposit

表 1 流沙山、额勒根乌兰乌拉和小狐狸山钼矿床中赋矿花岗岩类和矿化岩石化学成分  
Table 1 Chemical analytical data of granites and mineralized rocks in Liushashan, Elegenwulanwula and Xiaohulishan molybdenum deposits

样号	LSS-3	LSS-4	LSS-6	LSS-7	E-29-2	E-37-1	E-1	X-1	X-15-1	X-16-2
岩性	花岗闪长岩	花岗闪长岩	含钼-金的钾长石脉	含钼-金的钾长石脉	似斑状花岗闪长岩	弱蚀变矿化似斑状花岗闪长岩	强蚀变矿化似斑状花岗闪长岩	斑状弱钠长石化花岗岩	强蚀变矿化花岗岩	云英岩型矿石
主量成分含量/%										
SiO <sub>2</sub>	63.14	63.73	63.59	56.95	53.77	68.56	58.26	71.64	76.36	91.46
TiO <sub>2</sub>	0.66	0.67	0.11	0.46	1.13	0.38	0.46	0.23	0.07	0.10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.36	15.10	17.78	16.50	16.17	14.24	18.38	13.71	16.47	5.50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.59	2.17	0.24	3.44	4.40	2.01	2.16	0.56	1.41	0.62
FeO	3.40	3.23	0.23	0.11	5.14	1.35	0.72	1.24	0.68	0.43
MnO	0.07	0.07	0.03	0.08	0.23	0.08	0.07	0.18	0.16	0.08
MgO	2.58	2.21	0.03	0.15	5.11	1.52	1.81	0.37	0.18	0.10
CaO	4.66	4.03	0.15	3.85	4.17	2.49	3.75	0.95	0.64	0.19
K <sub>2</sub> O	2.44	2.95	16.43	14.92	1.97	3.24	0.48	4.80	0.76	0.11
Na <sub>2</sub> O	3.22	2.92	0.36	0.20	4.32	3.94	9.01	3.89	0.08	0.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.12	0.13	0.03	0.26	0.43	0.12	0.18	0.03	0.02	0.01
H <sub>2</sub> O	1.20	1.25	0.42	0.94	2.58	1.42	1.68	1.20	1.06	0.50
CO <sub>2</sub>	0.40	0.50	0.28	2.46	0.52	0.69	2.67	0.52	0.17	0.17
合计	99.84	98.96	99.68	100.32	99.94	100.04	99.63	99.32	98.06	99.33
稀土元素含量/10 <sup>-6</sup>										
La	21.78	17.57	9.13	9.58	20.6	21.0	16.3	42.2	10.8	1.79
Ce	42.49	35.23	19.17	17.61	39.3	40.4	30.6	88.8	17.0	4.18
Pr	3.64	3.37	2.17	2.18	5.17	4.25	3.50	9.28	2.38	0.44
Nd	15.42	13.65	10.52	9.34	23.1	15.2	13.3	29.9	7.75	1.39
Sm	3.09	3.13	3.82	3.32	5.77	2.69	2.71	5.65	2.16	0.31
Eu	0.74	0.78	0.31	0.45	1.75	0.83	0.78	0.67	0.19	<0.05
Gd	4.19	4.13	6.19	5.70	6.23	2.60	2.21	5.36	3.17	0.35
Tb	0.48	0.56	1.20	0.92	1.00	0.38	0.33	0.90	0.76	0.07
Dy	2.77	3.24	8.14	6.85	5.64	1.83	1.82	5.07	6.02	0.46
Ho	0.60	0.76	1.90	1.64	1.24	0.38	0.38	1.12	1.51	0.11
Er	1.72	2.09	5.49	4.70	3.48	1.21	1.13	3.62	5.42	0.47
Tm	0.27	0.32	0.91	0.73	0.53	0.16	0.14	0.58	1.00	0.10
Yb	1.97	2.34	6.97	5.64	3.54	1.23	1.10	4.63	8.38	0.83
Lu	0.34	0.36	1.16	1.01	0.51	0.19	0.16	0.69	1.40	0.17
Y					30.1	10.5	9.44	34.7	39.7	2.66
∑REE	99.50	87.53	77.08	69.67	147.96	102.85	83.90	233.17	107.64	13.38
LREE/HREE	7.06	5.34	1.41	1.56	3.22	10.57	9.22	8.13	1.46	3.19
(La/Yb) <sub>N</sub>	7.28	4.94	0.86	1.12	3.83	11.24	9.75	6.00	0.85	1.42
δEu	0.63	0.66	0.19	0.31	0.89	0.96	0.95	0.37	0.22	0.47

岩石中长石强烈云英岩化, 仅保留假象, 中-粗粒结构, 组成矿物主要有碱性长石(6%)、铁锂云母(6%左右)、绢云母(10%)、黄玉(15%左右)、石英(60%), 后者均呈他形, 黄玉的裂理十分发育, 石英的裂纹也很普遍, 辉钼矿主要分布在黄玉和石英的裂隙中。X-16-2 是以石英为主体的云英岩, 是重要的钼矿石, 粗中粒结构, 他形石英 75%~80%, 黄玉 10%左右, 普遍碎裂, 铁锂云母 7%左右。黄玉、石英等受到辉钼矿的强烈交代, 石英中的环带交代作用也

十分典型。

从含矿围岩(X-1)到蚀变矿化岩石(X-15-1), 再到强蚀变成矿云英岩(X-16-2), 伴随钼含量的增高, SiO<sub>2</sub> 含量得到明显集聚, 反之, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、FeO、MnO、MgO 等基性明显趋于减少, 同时 SiO<sub>2</sub> 含量的突出富集, 也掩盖了挥发组分的实际增加。

图 4 是小狐狸山矿床中 3 个样品以里德 6 个球粒陨石稀土元素平均含量(陈德潜等, 1990)为背景值的配分模式图, 从斑状弱钠长石化粗-中粒花岗岩

强蚀变质花岗岩 云英岩型矿石, 稀土含量显著从高到低, LREE/HREE 和  $(La/Yb)_N$  总体是降低的, 3 个样品的 Eu 均有较大亏损, 但共同特点是  $\delta Eu$  均小于 0.5。

3 个矿床中地球化学的共同点是: 从赋矿围岩到矿体,  $SiO_2$  含量均是由低到高,  $TiO_2$ 、 $Fe_2O_3$ 、 $FeO$  等基性由高到低。赋矿围岩中的稀土元素总量均高于矿体, 矿体中的轻重稀土比值普遍高于赋矿围岩。以上特征反映了从赋矿围岩的原始岩浆到构成矿体的成矿热液之间存在着内在联系。

### 3 额勒根乌兰乌拉—小狐狸山钼矿床赋矿岩体锆石采集及定年

#### 3.1 样品的采集和处理

额勒根乌兰乌拉钼矿床本次测年锆石采自铜(钼)矿体发育的似斑状花岗闪长岩地表 0 号探槽中。该岩体在地表呈不规则岩株、岩脉状产出, 出露面积  $0.8 \text{ km}^2$ , 岩石的斑状结构明显, 斑晶主要由斜长石组成。

小狐狸山钼矿床本次测年锆石采自成矿岩体的中心部位中粗粒弱钠长石化碱长花岗岩中, 斑状结构明显, 斑晶由石英和钾长石组成。

上述两矿床岩石中锆石的富集分选均是在河北省廊坊市科大岩石矿物分选技术服务有限公司完成, 每个样品均获得了近 200 粒纯锆石。

额勒根乌兰乌拉岩体中锆石在双目镜下观察, 锆石基本均具自形晶, 颜色以浅黄色和浅褐黄色为主, 透明度较好, 晶体主要由柱面(100)、(110), 锥面(131)、(311)和(101)组成的聚形, 锥面普遍存在, 锆石基本没有熔蚀特征, 棱角普遍较清楚, 个别颗粒

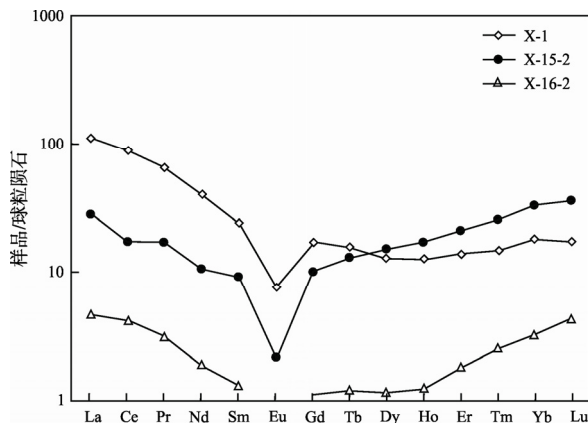


图 4 小狐狸山钼矿床中斑状-弱钠长石化花岗岩和矿化岩石的稀土元素配分模式图

Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns for porphyritic-slightly albitized granite and mineralized rocks in the Xiaohulishan molybdenum deposit

含有不透明矿物包裹体。

小狐狸山岩体锆石普遍也较自形, 锆石晶形分别由柱面(100)、(110)和锥面(111), 锥面(111)以及柱面(100)、(110), 锥面(111)、(311)、(131)组成的聚形。其中普遍有黑色矿物包体, 其环带结构也不如额勒根乌兰乌拉钼矿区似斑状花岗闪长岩中的锆石发育, 在一定程度上因受放射性影响有蜕变特征。

#### 3.2 分析方法

测年锆石的前期准备工作完全按程序进行的(Williams, 1987; 宋彪等, 2002), 从每颗测年锆石几乎都有清晰的环带表明, 它们均具有较典型的岩浆成因特征(李长明, 2009)。

SHRIMP U-Pb 年龄测定是在北京离子探针中心的 SHRIMP 仪器上完成, 详细分析流程和原理参考了 Compston 等(1992)、Williams(1987)和宋彪等(2002)的文献。测试时应用了 RSES(澳大利亚国立大学地学院)的标准锆石 SL13(年龄 572 Ma, U 含量  $238 \times 10^{-6}$ ), 用来标定所测锆石的 U、Th 和 Pb 含量。普通铅由实测  $^{204}\text{Pb}$  及 Cumming-Richard 模式铅成分校正。所有测点的误差均为 1%, 所采用的  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  加权平均年龄具 95% 的置信度。数据处理采用 Ludwig(2001)编写的 Squid 1.0 和 Isoplot 程序。激光在锆石上轰击后均留下了清晰的束斑环(图 5、图 6)。

#### 3.3 测年结果

额勒根乌兰乌拉似斑状花岗闪长岩锆石年龄测定分析结果见表 2 和图 7, 14 个测点的普通铅含量为  $1.26 \times 10^{-6} \sim 7.29 \times 10^{-6}$ , 平均  $3.41 \times 10^{-6}$ , 变化幅度较大, 而且总体含量较高, 放射性铅的含量为  $3.00 \times 10^{-6} \sim 17.5 \times 10^{-6}$ , 平均  $9.87 \times 10^{-6}$ , 与普通花岗岩相比, 相对较低, Th/U 变化于 0.28~0.98, 平均 0.52, 也验证了属于典型的岩浆成因锆石。在  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  协和直线上, 13 粒锆石的投图明显构成两个区(图 7), 其中, E1-12-1 点分析结果为  $(421.3 \pm 8.3) \text{ Ma}$ , 其年龄应属中上志留纪时期, 其它点分析结果范围为  $(318.7 \pm 8.9) \text{ Ma} \sim (350.4 \pm 7.2) \text{ Ma}$ , 平均  $(341 \pm 5) \text{ Ma}$ , 其年龄应属下石炭世范畴, 我们认为, 后者代表了额勒根乌兰乌拉似斑状花岗闪长岩原始岩浆的结晶年龄, 它比岩体中辉钼矿的成矿年龄  $(332.0 \pm 9.0) \text{ Ma}$  早了近 9 Ma, 也即从成岩到成矿, 岩浆-热液的演化持续了一段时间, 它反映了志留纪末一期重要的岩浆活动信息。也即, 本次岩浆活动对早古生代末板块碰撞晚期的造山岩浆活动有一定的继承性。

小狐狸山斑状-弱钠长石化花岗岩锆石年龄测定分析结果见表 2 和图 8, 13 个测点的普通铅含量为

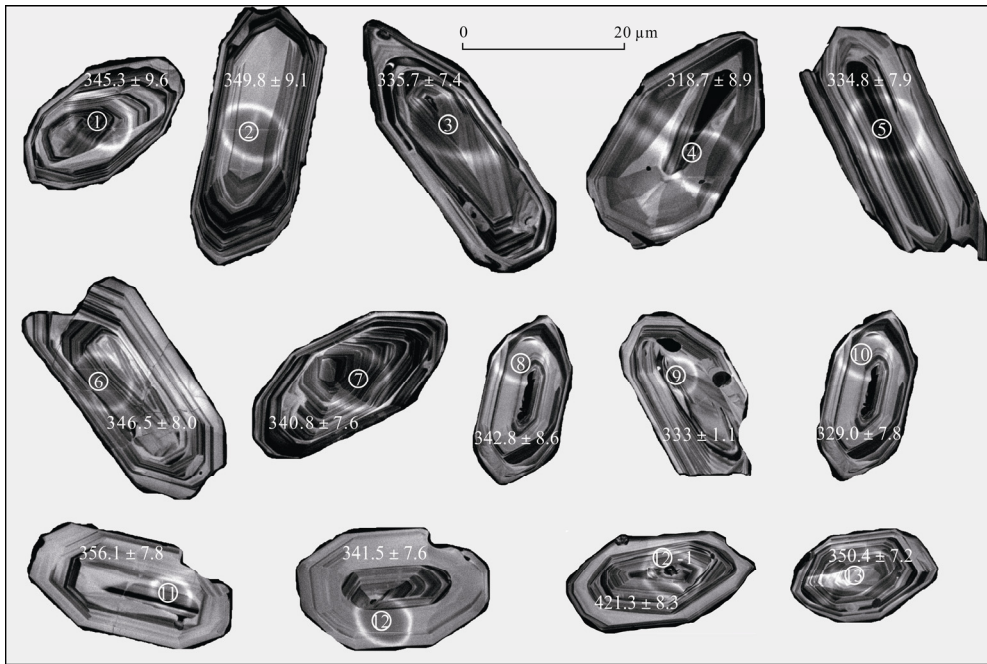


图 5 额勒根乌兰乌拉似斑状花岗闪长岩中测年锆石颗粒的阴极发光图像及测点年龄/Ma  
 Fig. 5 CL images of selected zircons from the Elegenwulanwula mimophyre granodiorite and their ages/Ma



图 6 小狐狸山斑状-弱钠长石化花岗岩中测年锆石颗粒的阴极发光图像及测点年龄/Ma  
 Fig. 6 CL images of selected zircons from the Xiaohulishan porphyritic-slightly albitized granite and their ages/Ma

$3.07 \times 10^{-6} \sim 6.96 \times 10^{-6}$ , 平均  $4.69 \times 10^{-6}$ , 高于额勒根乌兰乌拉岩体, 放射性铅的含量为  $1.63 \times 10^{-6} \sim 7.21 \times 10^{-6}$ , 平均  $5.44 \times 10^{-6}$ , 相对低于额勒根乌兰乌拉岩体, Th/U 变化于 0.53~1.38, 平均 0.78, 明显高于额勒根乌兰乌拉岩体, 特别是部分样品中 Th 的含量高于 U 的含量, 反映了岩体形成较晚的特点, 但总体仍属于典型的岩浆成因锆石 (李长明, 2009), 在  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ - $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  谐和直线上, 13 粒锆石的投点相对较集中 (图 8), 其测年数据变化于  $(207.3 \pm 6.0)$  Ma ~  $(233.4.5 \pm 5.7)$  Ma, 平均  $(222 \pm 3)$  Ma, 岩体中辉钼矿的形成年龄为  $(220.0 \pm 2.2)$  Ma, 二者相差 2 Ma, 结合

矿体和岩体的空间关系, 说明成岩成矿作用是一个具有密切内在联系的统一过程, 其成岩成矿作用是在一个较短的时间内完成的。

#### 4 成岩成矿年龄背景讨论

在一个地区, 一种地质作用的发生, 并非是孤立的, 特别是伴随区域性的构造活动而产生的岩浆-成矿作用更是如此, 它既包含了对早期地质作用的继承, 同时也含有晚期地质作用对早期的改造和演化。因此, 对上述年龄数据形成背景的讨论, 需要对北山地区地壳发展, 特别是古生代地壳的演化-发展

表 2 内蒙古额勒根乌兰乌拉似斑状花岗闪长岩(样品号带 P)和小狐狸山斑状-弱钠长石化花岗岩锆石(样品号带 X-01)SHRIMP U-Pb 年龄分析结果  
 Table 2 SHRIMP U-Pb isotopic analytical data of zircon grains from Elegenwulanwula mimophyre granodiorite(sample number with P) and Xiaohulishan porphyritic-slightly albitized granite(sample number with X-01), Inner Mongolia

Spot	$^{206}\text{Pb}_c/10^{-6}$	U/ $10^{-6}$	Th/ $10^{-6}$	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/10^{-6}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	误差(±%)	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	误差(±%)	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	误差(±%)	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄/Ma	误差(±%)
P-1	7.29	59	22	0.38	3.00	0.1168	7.4	0.442	16	0.0550	2.3	345.3	9.6
P-2	4.29	73	28	0.39	3.66	0.0939	5.8	0.457	9.8	0.0558	2.3	349.8	9.1
P-3	1.91	272	208	0.79	12.7	0.0689	5.0	0.394	6.8	0.0535	1.9	335.7	7.4
P-4	3.72	155	75	0.50	7.00	0.0841	4.8	0.378	8.1	0.0507	2.5	318.7	8.9
P-5	1.85	102	55	0.55	4.78	0.0745	4.6	0.439	6.2	0.0533	2.1	334.8	7.9
P-6	2.01	283	278	1.01	13.7	0.0726	2.2	0.429	3.5	0.0552	1.9	346.5	8.0
P-7	3.20	184	78	0.43	8.88	0.0772	2.4	0.383	4.3	0.0543	2.0	340.8	7.6
P-8	3.41	265	119	0.47	12.9	0.0793	3.7	0.390	6.4	0.0546	2.3	342.8	8.6
P-9	7.14	114	51	0.46	5.60	0.1108	6.3	0.397	7.2	0.0530	2.5	333	11
P-10	3.13	237	117	0.51	11.0	0.0820	6.4	0.410	9.8	0.0524	2.1	329.0	7.8
P-11	2.98	285	175	0.63	14.4	0.0959	3.7	0.566	5.4	0.0568	1.9	356.1	7.8
P-12	3.17	159	79	0.51	7.67	0.0826	4.7	0.428	7.3	0.0544	2.0	341.5	7.6
P-12-1	2.43	294	82	0.29	17.5	0.0753	2.8	0.518	4.3	0.0675	1.9	421.3	8.3
P-13	1.26	317	182	0.59	15.4	0.0656	2.0	0.427	3.1	0.0559	1.9	350.4	7.2
X-01-1	3.74	182	97	0.55	5.99	0.0865	2.5	0.312	11.0	0.03689	2.1	233.4	5.7
X-01-2	4.06	191	108	0.58	5.94	0.0884	7.8	0.257	7.2	0.03480	2.0	220.4	5.2
X-01-3	6.96	205	159	0.80	6.19	0.1028	7.5	0.210	18	0.03271	2.1	207.3	6.0
X-01-4	4.47	157	92	0.60	4.90	0.0985	6.9	0.302	12	0.03481	2.1	220.5	5.5
X-01-5	4.80	227	216	0.98	7.21	0.0969	5.1	0.313	9.4	0.03518	2.0	222.8	5.7
X-01-6	6.00	169	93	0.57	5.16	0.1021	5.1	0.249	10	0.03350	2.0	212.3	5.4
X-01-7	4.11	228	132	0.60	7.37	0.0799	3.6	0.232	6.8	0.03610	1.9	228.5	5.4
X-01-8	4.66	91	55	0.63	3.19	0.1536	6.3	0.372	9.4	0.03643	2.3	230.4	7.8
X-01-9	4.79	131	181	1.43	4.29	0.1358	6.7	0.498	9.8	0.03630	2.3	229.7	8.1
X-01-10	4.05	39	44	1.17	1.63	0.232	8.1	0.365	10.5	0.0392	3.5	225.0	15
X-01-11	4.79	216	170	0.81	6.71	0.0883	5.0	0.236	9.6	0.03453	2.0	218.8	5.4
X-01-12	5.43	175	93	0.55	5.50	0.0970	2.4	0.284	12.0	0.03466	2.0	219.6	5.3
X-01-13	3.07	211	262	1.28	6.61	0.0812	4.0	0.276	6.5	0.03537	2.4	224.0	7.2

注:  $\text{Pb}_c$  和  $\text{Pb}^*$  分别表示普通铅和反射性铅, 标准校正值的误差为 0.90%, 应用实测  $^{204}\text{Pb}$  校正锆石中的普通铅, 采用  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  年龄。



应有一个较全面的了解, 这样才有可能对有关年龄当时的地质环境有较深刻的认识。

北山古老地壳在前寒武时期是相对稳定的, 从寒武纪开始, 进入一个强烈的活动发展阶段, 首先从北山中部的红柳河—牛圈子—洗肠井一带发生裂解形成大陆裂谷带, 裂谷带的进一步演化, 形成北、南两板块(哈萨克斯坦板块和塔里木板块)夹一洋盆的格局。志留纪晚期, 红柳河—牛圈子—洗肠井洋盆自南向北的俯冲和拼贴, 和随后出现碰撞造山作用, 使哈萨克斯坦板块和塔里木板块又构成统一大陆, 从而结束了北山地区早古生代的两个板块构造格局(杨合群等, 2008, 2010; 左国朝等, 2003; 何世平等, 2005)。

到早石炭世, 北山统一大陆, 沿红石山—百合

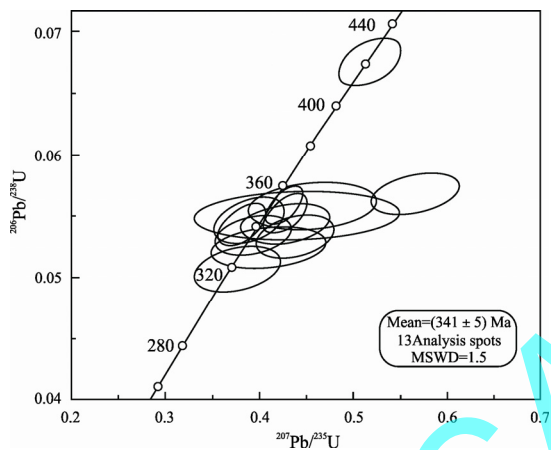


图 7 额勒根乌兰乌拉似斑状花岗闪长岩锆石分析数据的 U-Pb 谐和图解  
Fig. 7 U-Pb concordant diagrams of analytical data of zircons from the Elegenwulanwula mimophyre granodiorite

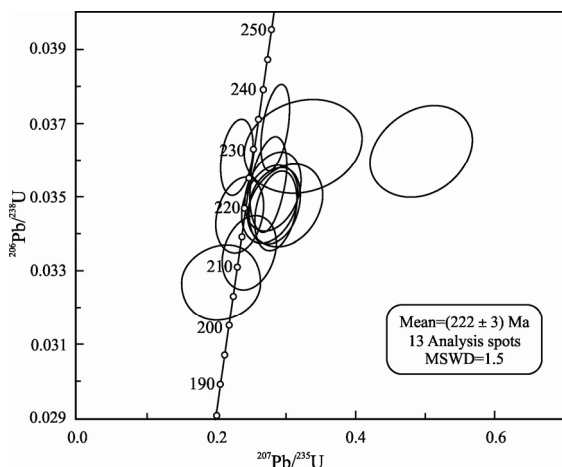


图 8 小狐狸山斑状-弱钠长石化花岗岩锆石分析数据的 U-Pb 谐和图解  
Fig. 8 U-Pb concordant diagrams of analytical data of zircons from the Xiaohulishan porphyritic-slightly albitized granite

山—蓬勃山一带又发生裂解, 再度发展成洋盆(何世平等, 2005), 北部仍称哈萨克斯坦板块, 南部还叫塔里木板块。到早石炭世中晚期, 大洋在不断扩展的同时, 向南北两侧陆块发生双向俯冲作用, 使两板块的向洋一侧均形成活动陆缘带, 在其中产生了较大规模的火山-岩浆活动, 并构成了两个走向大致平行的岛弧山链。但由于洋壳向两侧俯冲的机制及下伏基底的差别, 北、南两个岛弧带中岩浆岩组合有所不同。

南部岛弧带中火成岩相对偏中性, 并在其中发育了与火山岩同沉积的铁矿。在火山喷发-喷溢晚期, 有海西中-晚期的花岗质岩浆大规模侵入。北部岛弧带中主要发育一套不含铁矿层的中酸性火山熔岩及碎屑岩组合。

流沙山、额勒根乌兰乌拉和小狐狸山钼矿所处位置在早古生代时它们同处于哈萨克斯坦板块中, 但从早石炭世开始, 统一的北山板块沿红石山—百合山—蓬勃山发生裂解, 再度形成洋盆后(何世平等 2005), 当初的流沙山地段被分割到塔里木板块中, 而额勒根乌兰乌拉和小狐狸山则仍处于哈萨克斯坦板块中。而这一变化, 使流沙山钼矿原始位置划归到白山—狼娃山—蓬勃山南石炭纪岛弧带中, 而额勒根乌兰乌拉钼矿原始位置划归到野马泉—绿条山—六驼山石炭纪岛弧带中。在晚古生代时期南北两个活动陆缘带中伴随岛弧的发育, 为与岩浆活动有关矿产的形成创造了有利的背景条件。

但长期以来人们把该区陆缘带的构造活动、特别是岩浆活动的上界基本限定在石炭纪末, 对二叠纪时期的构造岩浆活动有所忽视。从目前的工作表明, 到二叠纪时期, 尽管岛弧活动已趋于消失, 但随之产生的碰撞-造山和与之相关的岩浆活动和成矿作用仍是不可忽视的。因此, 流沙山钼矿成岩成矿年龄目前确定为 $(261\sim 260)\times 10^6$  Ma, 考虑到矿区周围同类岩体的广泛发育。这一年龄的产生对深化该区地壳构造活动和成矿作用的认识有积极意义。

处于哈萨克斯坦板块南侧陆缘带中的野马泉—绿条山—六驼山早中石炭世岛弧带的额勒根乌兰乌拉地区, 海西期侵入岩的分布范围占到了该区面积的 22%, 强烈的岩浆活动也为成矿物质从深部带到地壳浅部提供了非常有利的条件, 因此额勒根乌兰乌拉钼矿的成岩成矿作用发生在 $(341\sim 332)\times 10^6$  Ma 期间也是很正常的, 但成岩和成矿年龄有较大间距表明, 从岩浆产生、演化到后期热液中成矿物质的集聚, 曾经历了较长时间。

小狐狸山钼矿的成岩成矿年龄表明, 它们是在

北山陆块的中生代时期发生的。对北山陆块中生代构造-岩浆活动和成矿作用长期有所忽视,但近十多年来,通过深入的地质工作,特别是40余个中生代成岩、成矿作用同位素年龄数据的积累(殷先明, 2008a; 杜玉良等, 2009; 吕博等, 2011),表明北山地区中生代的构造-岩浆活动是十分强烈的,这些侵入岩浆活动与区域伸展-挤压构造作用具有密切的关系,而成矿作用则主要与岩浆活动晚期较强的结晶分异作用中产生的,这也是中生代花岗岩浆-热液成矿作用的一个特点。小狐狸山钼矿便是其中的代表。

流沙山等3个钼矿床产生的大地构造环境也可从岩石化学构造环境判别图解中(图9)反映出来,流沙山钼矿床中的两个花岗闪长岩投点,一个处于岛弧花岗岩区的上部边缘区内,一个处在外围,也就是说,花岗闪长岩和钼矿形成时,岛弧环境已处于基本消失和消失之后。额勒根乌兰乌拉钼矿床中的两个似斑状花岗闪长岩投点均在岛弧花岗岩类区,但已靠近边部。小狐狸山钼矿中的花岗岩两个投点(X005样品据彭振安, 2010a)均处在与大陆抬升有关花岗岩类区边缘。以上投点与从北山地壳发展史角度探讨钼矿形成环境基本是吻合的。

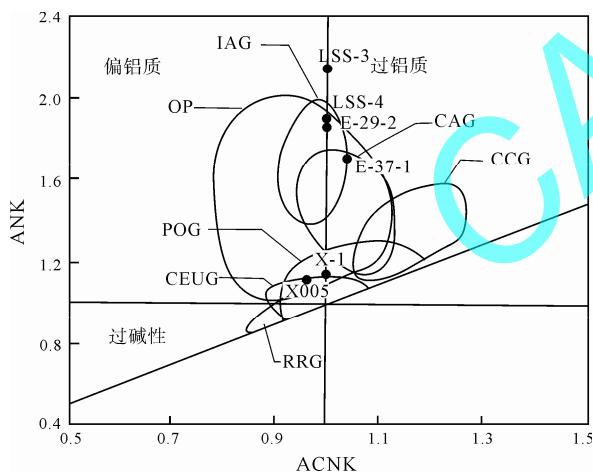


图9 内蒙古北山地区钼矿床形成的大地构造环境判别图解(据 Maniar et al., 1989)

Fig. 9 Discrimination diagram showing the tectonic environment for the formation of molybdenum deposits in Beishan area, Inner Mongolia(after Maniar et al., 1989)

ANK 和 ACNK 分别为  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  的分子比

IAG-岛弧花岗岩类; CAG-大陆弧花岗岩类; CCG-大陆碰撞花岗岩类; POG-后造山花岗岩类; RRG-与裂谷有关的花岗岩类; CEUG-与大陆抬升有关的花岗岩类; OP-大洋斜长花岗岩类  
ANK and ACNK show  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  molecule ratios, respectively  
IAG-island arc granites; CAG-mainland arc granites; CCG-continent collision granites; POG-post orogenic granites; RRG-granites related to rift valley; CEUG-granites related to mainland uplifting; OP-oceanic plagiogranites

在此需着重说明的是,北山钼成矿带仅是区域东西向钼多金属成矿带的一小部分,向东在中蒙边境我国境内已有诸多中-大型矿床发现(沈存利等, 2010),突出反映了这一带找矿的巨大潜力,而且这些矿床的成矿时代也有较大差异(蔡明海等, 2011; 聂凤军等, 2003a, 2010; 张新元等, 2010),为了使找矿工作向纵深发展,区域成矿环境的深入研究是需要我们认真考虑的。

## 参考文献:

- 蔡明海, 张志刚, 屈文俊, 彭振安, 张诗启, 徐明, 陈艳, 王显彬. 2011. 内蒙古乌拉特后旗查干花钼矿床地质特征及 Re-Os 测年[J]. 地球学报, 32(1): 64-68.
- 陈德潜, 陈刚. 1990. 实用稀土元素地球化学[M]. 北京: 冶金工业出版社.
- 杜玉良, 殷先明, 冯治汉, 殷勇. 2009. 北山地区中生代构造-岩浆活动与成矿[J]. 西北地质, 42(2): 48-54.
- 甘肃省地质局地质力学区域测量队. 1977. 1: 20 万黑鹰山幅区域地质调查报告和地质图[R]. 甘肃酒泉: 甘肃省地质局地质力学区域测量队.
- 甘肃省地质局地质力学区域测量队. 1979. 1: 20 万六驼山幅区域地质调查报告和地质图[R]. 甘肃酒泉: 甘肃省地质局地质力学区域测量队.
- 甘肃省地质局地质力学区域测量队. 1981. 1: 20 万嘎顺淖尔幅区域地质调查报告和地质图[R]. 甘肃酒泉: 甘肃省地质局地质力学区域测量队.
- 何世平, 周会武, 任秉琛, 姚文光, 付力浦. 2005. 甘肃内蒙古北山地区古生代地壳演化[J]. 西北地质, 38(3): 6-15.
- 李长明. 2009. 锆石成因矿物学与锆石微区定年综述[J]. 地质调查与研究, 33(3): 161-172.
- 吕博, 杨岳清, 孟贵祥, 严加永, 赵金花, 王守光, 贾玲珑, 彭润民. 2011. 内蒙古东七一山碱长花岗岩的地球化学特征和成因[J]. 岩石矿物学杂志, 30(3): 543-552.
- 聂凤军, 胡朋, 江思宏, 刘翼飞. 2010. 中蒙边境沙麦-玉古兹尔地区钨和钼(钼)矿床地质特征、形成时代和成因机理[J]. 地球学报, 31(3): 383-394.
- 聂凤军, 江思宏, 白大明, 张义, 赵月明, 王新亮. 2003a. 内蒙古北山及邻区金属矿床类型及其时空分布[J]. 地质学报, 77(3): 367-378.
- 聂凤军, 江思宏, 白大明, 张义, 赵月明, 王新亮. 2003b. 北山中南带海西-印支期岩浆活动与金的成矿作用[J]. 地球学报, 24(5): 415-422.
- 聂凤军, 江思宏, 赵省民, 白大明, 刘妍, 赵月明, 王新亮, 苏新旭. 2002a. 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.
- 聂凤军, 江思宏, 赵省民, 白大明, 刘妍, 赵月明, 王新亮, 苏新旭. 2002b. 内蒙古流沙山金(钼)矿床地质特征及矿床类型的划分[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. 内蒙古额勒根斑岩型钼(铜)矿化区辉钼矿-钼-钨同位素年龄及地质意义[J].

矿床地质, 24(6): 638-646.

- 彭振安, 李红红, 屈文俊, 张诗启, 丁海军, 陈晓日, 张斌, 张永正, 徐明, 蔡明海. 2010a. 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, 29(3): 510-516.
- 彭振安, 李红红, 张诗启, 徐明, 陈艳, 蔡明海. 2010b. 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, 46(2): 291-298.
- 沈存利, 张梅, 于玺卿, 陈文国, 高维裕, 周文川. 2010. 内蒙古钼矿找矿新进展及成矿远景分析[J]. 地质与勘探, 46(4): 561-575.
- 宋彪, 张玉海, 万渝生, 简平. 2002. 锆石 SHRIMP 样品靶制作、年龄测定及有关现象讨论[J]. 地质论评, 48(增刊): 26-30.
- 童英, 洪大卫, 王涛, 史兴俊, 张建军, 曾涛. 2010. 中蒙边境中段花岗岩时空分布特征及构造和找矿意义[J]. 地球学报, 31(3): 395-412.
- 杨合群, 李英, 李文明, 杨建国, 赵国斌, 孙南一, 王小红, 谭文娟. 2008. 北山成矿构造背景概论[J]. 西北地质, 41(1): 22-28.
- 杨合群, 李英, 赵国斌, 李文渊, 王小红, 姜寒冰, 谭文娟, 孙南一. 2010. 北山蛇绿岩特征及构造属性[J]. 西北地质, 43(1): 26-36.
- 杨帅师, 王守光, 沈存利, 张梅, 张红霞, 郑宝军, 贾玲珑, 庄云, 周立军. 2012. 内蒙古小狐狸山钼多金属矿床成矿年龄及其地质意义[J]. 现代地质, 26(2): 261-268.
- 殷先明. 2008a. 甘肃省北山地区中生代构造花岗岩侵入及成矿作用[J]. 甘肃地质, 17(1): 1-6.
- 殷先明. 2008b. 甘肃北山印支燕山期花岗岩成矿作用与找矿工作再研究[J]. 甘肃地质, 17(3): 1-5.
- 张新元, 聂秀兰. 2010. 蒙古国南部欧玉陶勒盖铜(金)矿田找矿勘查与成矿理论研究新进展[J]. 地球学报, 31(3): 373-382.
- 中国科学院地球化学研究所. 1977. 简明地球化学手册[M]. 北京: 科学出版社.
- 左国朝, 刘义科, 刘春燕. 2003. 甘新蒙北山地区构造格局及演化[J]. 甘肃地质学报, 12(1): 1-15.

## References:

- CAI Ming-hai, ZHANG Zhi-gang, QU Wen-jun, PENG Zhen-an, ZHANG Shi-qi, XU Ming, CHEN Yan, WANG Xian-bin. 2011. Geological Characteristics and Re-Os Dating of the Chaganhua Molybdenum Deposit in Urad Rear Banner, Western Inner Mongolia[J]. Acta Geoscientica Sinica, 32(1): 64-68(in Chinese with English abstract).
- CHEN De-qian, CHEN Gang. 1990. Practical chemistry of the Eare earth[M]. Beijing: The Metallurgical Industry Publishing House(in Chinese).
- COMPSTON W, WILLIAMS I S, KIRSCHVINK J L, ZHANG Z C, MA G G. 1992. Zircon U-Pb ages for the Early Cambrian time-scale[J]. Journal of the Geological Society of London, 149(2): 171-184.

- DU Yu-liang, YIN Xian-ming, FENG Zhi-han, YIN Yong. 2009. Mesozoic Structural-Magmatic Activities and Mineralization in Beishan Region[J]. Northwestern Geology, 42(2): 48-54(in Chinese with English abstract).
- HE Shi-ping, ZHOU Hui-wu, YAO Wen-guang, FU Li-pu. 2005. Crustal evolution of Palaeozoic in Beishan area, Gansu and Inner Mongolia, China[J]. Northwestern Geology, 38(3): 6-15(in Chinese with English abstract).
- Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences. 1977. Handbook of Brief Geochemistry[M]. Beijing: Science Press(in Chinese).
- LI Chang-ming. 2009. A Review on the minerageny and situ microanalytical dating techniques of zircons[J]. Geological Survey and Research, 33(3): 161-172(in Chinese with English abstract).
- LUDWIG K R. 2001. Users manual for Isoplot/Ex rev. 2.49[M]. Berkeley Geochronology Centre: Special Publication: 56.
- LÜ Bo, YANG Yue-qing, MENG Gui-xiang, YAN Jia-yong, ZHAO Jin-hua, WANG Shou-guang, JIA Ling-long, PENG Run-min. 2011. Geochemical characteristics and petrogenesis of Dongqiyan alkali feldspar granite, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 30(3): 543-552(in Chinese with English abstract).
- MANIAR P D, PICCOLI P M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids[J]. The Geological Society of America Bulletin, 101(5): 635-643.
- NIE Feng-jun, HU Peng, JIANG Si-hong, LIU Yi-fei. 2010. Geological Features, Geochronology and Origin of the Tungsten and Tungsten (Molybdenum) Deposits in the Shamai-Yuguzer Mineralization Concentrated Camp along the Sino-Mongolian Border[J]. Acta Geoscientica Sinica, 31(3): 383-394(in Chinese with English abstract).
- NIE Feng-jun, JIANG Si-hong, BAI Da-ming, ZHANG Yi, ZHAO Yue-ming, WANG Xin-liang. 2003a. Type and Temporal-Spatial Distribution of Metal Deposits in the Beishan Mountains, Inner Mongolia, and Its Neighboring Region[J]. Acta Geologica Sinica, 77(3): 367-378(in Chinese with English abstract).
- NIE Feng-jun, JIANG Si-hong, BAI Da-ming, ZHANG Yi, ZHAO Yue-ming, WANG Xin-liang. 2003b. Hercynian-Indosinian Magmatic Activities and Gold Metallogeny in Central and Southern Beishan Region, Northwest China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 24(5): 415-422(in Chinese with English abstract).
- NIE Feng-jun, JIANG Si-hong, ZHAO Xing-min, BAI Da-ming, LIU Yan, ZHAO Yue-ming, WANG Xin-liang, SU Xin-xu. 2002a. Metallogenic Studies and Ore Prospecting in the Conjunction Area of Inner Mongolia Autonomous Region, Gansu Province and Xinjiang Uygur Autonomous Region (Beishan MT.), Northwest China[M]. Beijing: Geological Publishing

- House(in Chinese).
- NIE Feng-jun, JIANG Si-hong, ZHAO Xing-min, BAI Da-ming, LIU Yan, ZHAO Yue-ming, WANG Xin-liang, SU Xin-xu. 2002b. Geological Features and Metallogenic Type of the Liushashan Gold (Molybdenum) Deposit in Ejin Qi (Prefecture), Western Inner Mongolia[J]. *Geology-Geochemistry*, 30(1): 1-7(in Chinese with English abstract).
- NIE Feng-jun, QU Wen-jun, LIU Yan, DU An-dao, JIANG Si-hong. 2005. Re-Os isotopic age dating of molybdenite separates from Elegen porphyry Mo(Cu) mineralized area, northwestern Alxa, western Inner Mongolia[J]. *Mineral Deposit*, 24(6): 638-646(in Chinese with English abstract).
- PENG Zhen-an, LI Hong-hong, QU Wen-jun, ZHANG Shi-qi, DING Hai-jun, CHEN Xiao-ri, ZHANG Bin, ZHANG Yong-zheng, XU Ming, CAI Ming-hai. 2010a. Molybdenite Re-Os age of Xiaohulishan molybdenum deposit in Beishan area, Inner Mongolia[J]. *Mineral Deposits*, 29(3): 510-516(in Chinese with English abstract).
- PENG Zhen-an, LI Hong-hong, ZHANG Shi-qi, XU Ming, CHEN Yan, CAI Ming-hai. 2010b. Geochemical Characteristics of Mo-mineralized granite in the Xiaohulishan deposit, Beishan area, Inner Mongolia[J]. *Geology and Exploration*, 46(2): 291-298(in Chinese with English abstract).
- RÖSLER H J, LANGE H. 1972. *Geochemical Tables*[M]. Amsterdam: Elsevier.
- SHEN Cun-li, ZHANG Mei, YU Xi-qing, CHEN Wen-guo, GAO Wei-yu, ZHOU Wen-chuan. 2010. New Progresses in Exploration of Molybdenum Deposits and Analysis of Mineralization Prospect in Inner Mongolia[J]. *Geology and Exploration*, 46(4): 561-575(in Chinese with English abstract).
- SONG Biao, ZHANG Yu-hai, WAN Yu-shen, JIAN Ping. 2002. Mount making and procedure of the SHRIMP dating[J]. *Geological Review*, 28(S): 26-30(in Chinese with English abstract).
- The Regional Survey Party for Geomechanics of the Gansu Province. 1977. Regional Report and Map of the Geological Survey for the Heiyingshan sheet at the of 1: 200000[R]. Jiuquan, Gansu: The Regional Survey Party for Geomechanics of the Gansu Province(in Chinese).
- The Regional Survey Party for Geomechanics of the Gansu Province. 1979. Regional Report and Map of the Geological Survey for the Liutuoshan sheet at the of 1: 200000[R]. Jiuquan, Gansu: The Regional Survey Party for Geomechanics of the Gansu Province(in Chinese).
- The Regional Survey Party for Geomechanics of the Gansu Province. 1981. Regional Report and Map of the Geological Survey for the Gashunnaoer sheet at the of 1: 200000[R]. Jiuquan, Gansu: The Regional Survey Party for Geomechanics of the Gansu Province(in Chinese).
- TONG Ying, HONG Da-wei, WANG Tao, SHI Xing-jun, ZHANG Jian-jun, ZENG Tao. 2010. Spatial and Temporal Distribution of Granitoids in the Middle Segment of the Sino-Mongolian Border and Its Tectonic and Metallogenic Implications[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(3): 395-412(in Chinese with English abstract).
- WILLIAMS I S, CLAESSEON S. 1987. Isotopic Evidence for the Precambrian Provenance and Caledonian Metamorphism of High Grade Paragneisses from the Seve Nappes, Scandinavian Caledonides, II. Ion Microprobe Zircon U-Th-Pb[J]. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 97(2): 205-217.
- YANG He-qun, LI Ying, LI Wen-ming, YANG Jian-guo, ZHAO Guo-bin, SUN Nan-yi, WANG Xiao-hong, TAN Wen-juan. 2008. General Discussion on Metallogenic Tectonic Setting of Beishan, Northwestern China[J]. *Northwestern Geology*, 41(1): 22-28(in Chinese with English abstract).
- YANG He-qun, LI Ying, ZHAO Guo-bin, LI Wen-yuan, WANG Xiao-hong, JIANG Han-bing, TAN Wen-juan, SUN Nan-yi. 2010. Character and Structural Attribute of the Beishan Ophiolite[J]. *Northwestern Geology*, 43(1): 26-36(in Chinese with English abstract).
- YANG Shuai-shi, WANG Shou-guang, SHEN Cun-li, ZHANG Mei, ZHANG Hong-xia, ZHENG Bao-jun, JIA Ling-long, ZHUANG Yun, ZHOU Li-jun. 2012. Rock-forming and Ore-forming Ages of Xiaohulishan Molybdenum-polymetallic Deposit in Inner Mongolia and Its Geological Significance[J]. *Geoscience*, 26(2): 261-268(in Chinese with English abstract).
- YIN Xian-ming. 2008a. Mesozoic Tectonics, Granite and Mineralization in Beishan Area of Gansu Province[J]. *Gansu Geology*, 17(1): 1-6(in Chinese with English abstract).
- YIN Xian-ming. 2008b. Re-study on Metallogenesis of Indo-Chinese and Yanshan Epoch Granite and Exploration in Beishan Area of Gansu Province[J]. *Gansu Geology*, 17(3): 1-5(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Xin-yuan, NIE Xiu-lan. 2010. New Advancements in Exploration Practice & Theoretical Studies of the Oyu Tolgoi Copper (Gold) Orefield in the Southern Mongolia[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 31(3): 373-382(in Chinese with English abstract).
- ZUO Guo-chao, LIU Yi-ke, LIU Chun-yan. 2003. Framework and evolution of the tectonic structure in Beishan area across Gansu province, Xinjiang Autonomous region and Inner Mongolia Autonomous region[J]. *Acta Geologica Gansu*, 12(1): 1-15(in Chinese with English abstract).