

编号: 0258-7106(2011)05-0828-09

# 黑龙江岔路口钼多金属矿床辉钼矿铼-钨同位素 年龄及地质意义\*

聂凤军<sup>1</sup> 孙振江<sup>2</sup> 李超<sup>3</sup> 刘翼飞<sup>1</sup> 吕克鹏<sup>2</sup> 张可<sup>1,4</sup> 刘勇<sup>1,4</sup>

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 黑龙江省有色金属地质勘查 706 队, 黑龙江 齐齐哈尔 161006;  
3 国家地质实验测试中心, 北京 100037; 4 北京科技大学, 北京 100083)

**摘 要** 岔路口矿床是迄今为止在中国北方发现的最大规模钼多金属矿床, 钼、铅锌和银的储量分别为 134 万 t、37 万 t 和 4 200 t。考虑到大规模地质勘查工作仍在进行中, 金属储量的增加只是个时间问题。为了进一步查明岔路口矿床的形成时间, 笔者对主要钼多金属矿体 8 件辉钼矿样品进行了铼-钨同位素分析, 所获同位素等时线年龄为  $(146.96 \pm 0.79) \text{ Ma}$  ( $2\sigma$ ), 其 MSWD 值为 1.2。鉴于辉钼矿呈浸染状和团块状分布于花岗斑岩岩株中, 并且与部分黄铁矿和黄铜矿呈共生结构关系, 可以推测岔路口地区钼多金属矿床及花岗斑岩的形成时间均为晚侏罗世, 属燕山中期构造-岩浆活动的产物。岔路口钼多金属矿床形成时代的厘定对于提高该矿床的理论研究水平和指导隐伏金属矿床的找矿勘查工作均具有重要意义。

**关键词** 地球化学; 铼-钨同位素年龄; 辉钼矿; 成矿时代; 斑岩型钼多金属矿床; 岔路口; 大兴安岭

中图分类号 P618.65

文献标志码 A

## Re-Os isotopic dating of molybdenite separates from Chalukou porphyry Mo polymetallic deposit in Heilongjiang Province

NIE FengJun<sup>1</sup>, SUN ZhenJiang<sup>2</sup>, LI Chao<sup>3</sup>, LIU YiFei<sup>1</sup>, LÜ KePeng<sup>2</sup>,  
ZHANG Ke<sup>1,4</sup> and LIU Yong<sup>1,4</sup>

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 No. 706 Nonferrous Metal Geological Party of Heilongjiang Province, Qiqihar 161006, Heilongjiang, China; 3 National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China;  
4 Beijing University of Science and Technology, Beijing 100083, China)

### Abstract

Located at the northernmost corner of the Deerbugan metallogenic belt and in the northeastern part of the Mongolian-Hinggan amalgamated massif, the newly found Chalukou ore deposit is the largest molybdenum polymetallic deposit ever discovered in China. It contains 1.34 Mt of Mo (metal), 0.37 Mt of Pb-Zn and 4 200 t of Ag. As a part of the evaluation project of the molybdenum deposit, mineral exploration around Chalukou is still underway. During the Mesozoic Yanshanian orogeny, intense extensional tectonic and igneous activities resulted in the formation of large-scale acid volcanic rocks and granitoid intrusions at Chalukou and its neighboring areas. The Chalukou granite porphyry and quartz porphyry stocks were emplaced in the Jurassic volcano-sedimentary sequence controlled by NE- and NW-trending fault zones. Rock-forming minerals of the two porphyry stocks are mainly quartz, microcline, microperthite and plagioclase associated with minor biotite and sericite. Accessory

\* 本文为国家重点自然科学基金项目(编号: 41030421)和地质调查项目(编号: 1212010911029)的成果

第一作者简介 聂凤军, 男, 1956 年生, 研究员, 博士生导师, 从事金属矿床地球化学研究。Email: nfjj@mx.cei.gov.cn

收稿日期 2011-06-29; 改回日期 2011-09-02。张绮玲、秦思婷编辑。

minerals include magnetite, apatite, zircon, sphene, and allanite. Molybdenum mineralization occurs within the Chalukou porphyry stocks and volcanic rocks as stockworks, veins, veinlets and disseminated blocks. The molybdenum ore consists of pyrite, chalcopyrite, molybdenite, sphalerite, galena, magnetite, pyrrhotite, K-feldspar, fluorite, quartz, sericite and chlorite. As the most important economic molybdenum mineral, molybdenite occurs in the impregnation, radioflake, thin film, aggregated flake and veinlet forms. Re-Os isotopic dating of eight molybdenite separates from the main ore body yielded an isochron age of  $(146.96 \pm 0.79)$  Ma and model ages ranging from 146.2 Ma to 149.1 Ma with an average value of 147.4 Ma. The Re-Os isochron age is in agreement with field geological evidence, and the molybdenite is coexistent with chalcopyrite and pyrite, suggesting that the Re-Os isochron age represents the ore-forming time of the porphyry Mo mineralization in the Chalukou ore deposit and its neighboring areas. Combined with field geological observations and petrological evidence, the authors hold that the ore-forming materials might have been derived from a mixed source of depleted mantle and crustal-derived magma or fluids. The Re-Os isochron age of the molybdenite separates at Chalukou indicates that late Jurassic intraplate granitoid magmatism and relevant molybdenum polymetallic mineralization in the northernmost part of the Da Hinggan Mountains were active after the latest Paleozoic collision between the Siberian plate and the Mongolian-Hinggan amalgamated massif. Therefore, the Chalukou district and its neighboring areas have a great potential for Mesozoic Yanshanian granitoid porphyry molybdenum polymetallic deposits.

**Key words:** geochemistry Re-Os isotopic age, molybdenite, ore-forming age, porphyry molybdenum polymetallic deposit, Chalukou, Da Hinggan Mountains

岔路口矿床位于黑龙江省大兴安岭北部松岭区,东南距松岭区政府所在地小杨气镇 64 km,距劲松镇 24 km,中心地理坐标:  $123^{\circ}51'00''$ ,  $51^{\circ}10'00''$ 。该矿床是黑龙江有色金属地质勘查 706 队(以下简称 706 队)在大兴安岭北部找到的一处特大型钼多金属矿床。迄今为止,所确定的钼、铅锌和银的储量(332+333)分别为 134 万 t、37 万 t 和 4 200 万 t,平均品位分别为 0.09%、1.27% 和  $10 \times 10^{-6}$  (刘翼飞等 2011;吕克鹏等 2010)。考虑到大规模地质勘探工作仍在进行中,储量增加只是个时间问题。岔路口及邻区的区域地质调查和找矿勘查工作始于 20 世纪 50 年代末期,中央人民政府和地方人民政府所属地勘队伍曾先后在该地区开展过 1:100 万、1:50 万和 1:20 万区域地质调查及 1:50 万和 1:20 万水系沉积物地球化学测量,同时还完成了 1:20 万和 1:5 万航空物探测量工作,并且提交有相应的文字报告和图件。另外,重要地段和关键地区的 1:5 万矿产地质调查也获得重要进展,圈定出一大批物化探异常,并发现有若干金属矿床(点)(黑龙江省地质矿产局,1993)。2005~2006 年,706 队在进行黑龙江省资源补偿费项目《黑龙江省大兴安岭地区松岭区多

布库尔河上游铜多金属预查》过程中,圈定出多处水系沉积物元素异常区。通过对部分元素异常的查证和揭露,发现有多条钼多金属矿(化)体,进而揭开了笼罩在这一特大型钼多金属矿床上的“面纱”,并且将本区找矿勘查工作推向一个新阶段。

在前人工作的基础上,笔者对岔路口钼多金属矿床开展了较系统的地质、岩(矿)相学和同位素年代学研究,对其产出环境、地质特征和形成时代进行了探讨,目的是为建立该矿床综合性成矿模式奠定基础,为指导隐伏钼多金属矿床找矿勘查提供科学依据。

## 1 成矿环境

岔路口矿床地处兴蒙造山带东北段,位于鄂伦春中间地块的中南部,地处伊列克得-鄂伦春深大断裂东侧(图 1)(杨郅城,2010;杨祖龙等,2009;Ren et al.,1999;黑龙江省地质矿产局,1993)。矿区及外围各时代地层分布广泛,构造形迹复杂,侵入岩十分发育,并且金属矿床(点)星罗棋布,为大兴安岭北段最重要的矿化集中区。

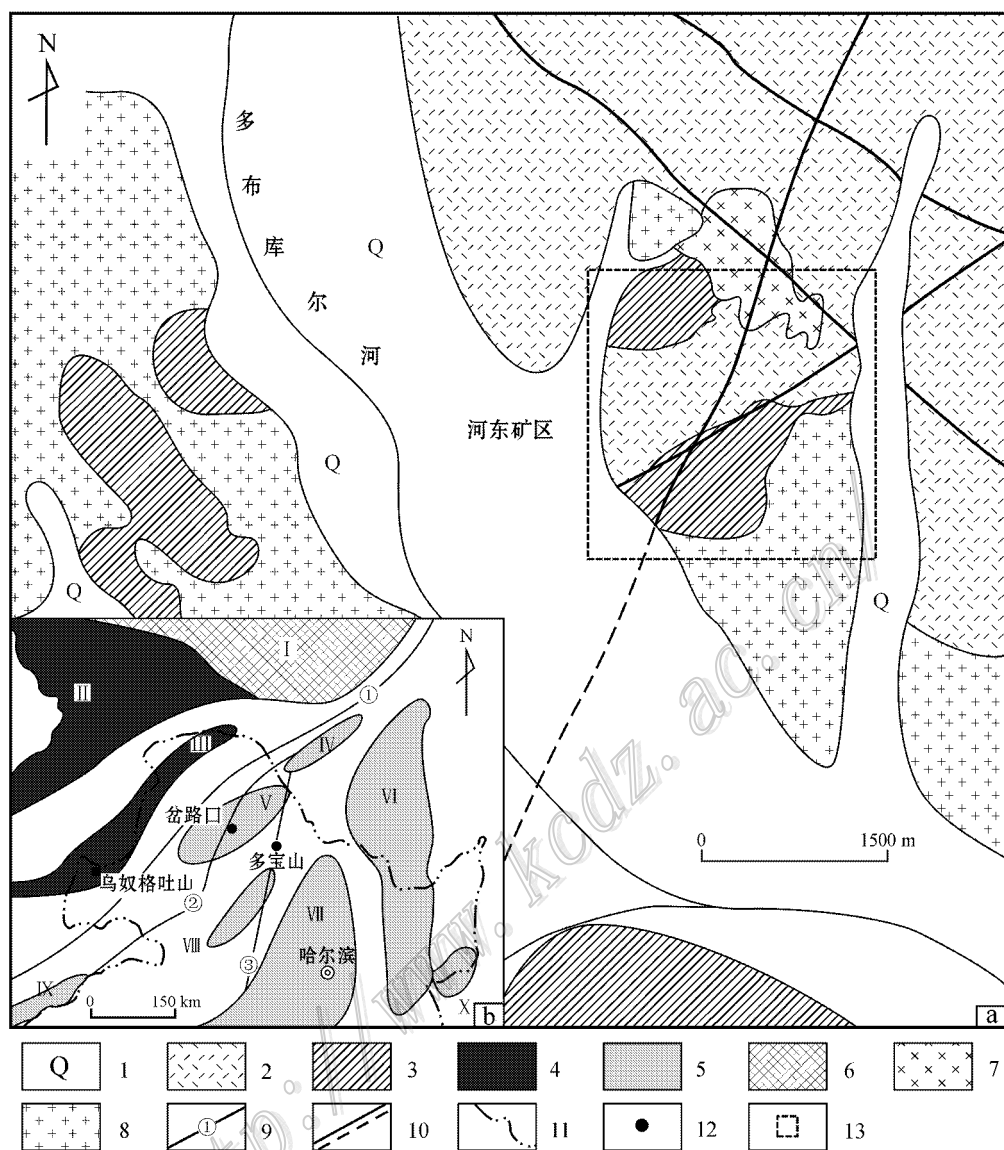


图 1 黑龙江岔路口钼多金属矿床区域地质略图(a)及大地构造位置图(b) (根据黑龙江省有色金属地质勘查 706 队, 2010<sup>①</sup>和 Ren et al., 1999 资料改编)

1—第四系; 2—侏罗系火山-沉积岩; 3—新元古界—寒武系变质岩; 4—亲西伯利亚块体及编号; 5—亲中华块体及编号; 6—前寒武纪克拉通; 7—中生代粗面岩; 8—古生代二长花岗岩; 9—深大断裂及编号: ①得尔布干; ②伊列克得-鄂伦春; ③嫩江; 10—一般断层; 11—国界; 12—斑岩型铜和钼矿床; 13—河东矿区范围。古陆块体: I—西伯利亚板块; II—亚布洛诺夫块体; III—阿依拉格块体; IV—结雅块体; V—鄂伦春块体; VI—布列亚-佳木斯块体; VII—松花江块体; VIII—扎兰屯块体; IX—达里甘嘎块体; X—兴凯块体

Fig. 1 Simplified regional geological map (a) and tectonic map (b) of the Chalukou molybdenum polymetallic deposit, Heilongjiang Province (modified after No. 706 Nonferrous Metal Geological Party of Heilongjiang Province and Ren et al., 1999)

1—Quaternary; 2—Jurassic volcano-sedimentary rocks; 3—Neoproterozoic-Cambrian metamorphic rocks; 4—Pro-Siberia blocks; 5—Paleo-Chinese blocks; 6—Precambrian craton; 7—Mesozoic trachyte; 8—Paleozoic monzogranite; 9—Deep-rooted fault: ① Hulun-Eergun; ② Deerbagan; ③ Nenjiang; 10—Common fault; 11—National boundaries; 12—Porphyry copper and molybdenum deposit; 13—Eastern mineralized district.

Blocks of ancient continent: I—Siberia; II—Yablonov; III—Ayrag; IV—Zeya; V—Oroqen; VI—Bureya-Jiamusi; VII—Songhuajiang; VIII—Zalantun; IX—Dariganga; X—Xingkai

岔路口矿区出露的地层主要有新元古界一下寒武统变质沉积岩和侏罗系火山岩以及第四系冲洪积物(刘翼飞等,2011;吕克鹏等,2010;黑龙江省地质矿产局,1993)。新元古界一下寒武统变质沉积岩主要出露在矿区中部多布库尔河两侧,主要岩石类型有变质砂岩、泥质粉砂岩、变粒岩、大理岩以及变质基性火山岩。相比之下,侏罗系中酸性火山岩分布广泛,主要岩石类型有安山岩、英安岩、流纹岩、角砾岩、凝灰岩和凝灰熔岩,其中英安岩和流纹岩是钼多金属矿体的主要容矿围岩(刘翼飞等,2011;吕克鹏等,2010)。第四系冲洪积物主要出现在矿区低洼处和沟谷中,由砂土和砾石构成。

各个地质时代、不同产出规模和分布形态各异的侵入岩体分布广泛,其中燕山期花岗岩类侵入岩以产出数量多、出露面积大、岩石类型复杂和含矿性好为特点。海西期石英闪长岩出现在矿区的西南角,呈小岩株状侵入到新元古界一下寒武统变质岩中,并且为燕山期侵入岩所切割。燕山早期二长花岗岩出露在矿区的西部、南部和北部,呈岩株(脉)状侵入到前述海西期石英闪长岩中并被侏罗系火山岩覆盖。石英斑岩和花岗斑岩为岔路口矿区最重要的两种含矿岩体,它们分别呈岩枝和岩脉侵入到中中生代变质岩和侏罗系火山岩中,并且与隐爆角砾岩带具有密切的空间分布关系(刘翼飞等,2011;吕克鹏等,2010)。另外,粗安玢岩和闪长玢岩呈脉状或岩株状侵入到含矿石英斑岩和花岗斑岩体内,明显切割和破坏了矿体,属成矿期后构造-岩浆活动产物。

岔路口矿区含矿隐爆角砾岩大都在侏罗系火山岩中呈条带状和筒状产出,出露面积变化范围较大,从 $n\text{ m}^2$ 到 $n\times 10\text{ m}^2$ 。在剖面上,它们多为上大下小的喇叭口状或围绕侵入岩脉(或株)的环带状(刘翼飞等,2011;吕克鹏等,2010)。一般情况下,隐爆角砾岩带与侏罗系火山岩地层界线清晰,但与花岗斑岩和石英斑岩呈渐变过渡关系。角砾大多为几厘米到几米的棱角状-次圆状,大小相差悬殊,成分上既可以是流纹岩、英安岩和凝灰熔岩,也可以是花岗斑岩、石英斑岩和石英闪长岩,胶结物主要是蚀变晶屑、岩屑和蚀变矿物集合体。

各种展布方向、不同产出规模和几何形态各异的断层破碎带分布广泛,其中以北东向和北西向断层破碎带产出规模最大,并且与钼多金属矿体具有密切的空间分布关系。另外,在岔路口外围的北东部,北东向与北西向线性构造交汇处分布有明显的

环状构造,长度和宽度分别为9 km和3 km,这一呈北东向展布的构造形迹为岔路口矿床的重要导矿构造。需要提及的是,厚度大、品位高且连续性好的钼多金属矿体大都在北东向、北东东向和北西向断层交汇部位产出,因此,各类断层交汇部位很可能是成矿流体上涌的通道和积淀空间(刘翼飞等,2011)。

## 2 矿体地质特征

岔路口矿区主要由河东和河西2处工作区构成,整个矿化区东西长8 km,南北宽5 km,分布面积 $40\text{ km}^2$ 。迄今为止,多布库尔河河东区的详细地质勘查工作已接近尾声,而河西区地质普查工作则正在进行之中。考虑到河东和河西区的工作程度相差较大,这里仅以河东区为例,对岔路口矿床地质特征进行概要介绍和总结。如前所述,钼多金属矿化多在侏罗系酸性火山岩和燕山期浅成侵入岩体(石英斑岩和花岗斑岩)内呈网脉状、细脉-浸染状和条带状产出。矿体如同巨大的“倒扣钟”或“碗”状(或拉长式穹窿状)位于火山侵入杂岩体内,地表出露长度为1 800 m,宽度为200~1 000 m,倾斜延深达815 m,分别向南西、北东、西北和东南方向倾斜,倾角为 $25^\circ\sim 60^\circ$ (图1和图2)。在垂向上,矿体顶板的埋藏深度为200~400 m,从上到下,大体可以划分为3种类型,即薄层状、厚层状和囊状,其中前2者位于后者之上(刘翼飞等,2011;吕克鹏等,2010)。各类矿体地质特征简述如下:①薄层状矿体:在中酸性火山岩中呈薄层状和脉状产出,厚度为几米到几十米, $w(\text{Mo})$ 为0.03%~0.08%,平均值0.06%。矿体以产出规模小、矿石品位低和连续性差(图2);②厚层状矿体:在中酸性火山岩和花岗斑岩内呈厚层状、板状和透镜状产出,厚度为几十米到百余米, $w(\text{Mo})$ 为0.06%~0.26%,平均值0.12%。矿体以产出规模大、矿石品位较高和连续性较好为特征(图2);③囊状矿体:在花岗斑岩和隐爆角砾岩带内呈厚层状和囊状产出,厚度为几十米到数百米, $w(\text{Mo})$ 为0.08%~0.53%,平均值0.18%。矿体以产出规模大、矿石品位高和连续性好为特征(图2)。系统的钻探结果表明,随着深度增加,钼矿体有明显增厚和变富的趋势,除了个别钻孔穿过厚大矿体外,大部分钻孔终止于矿体内部,暗示了其深部仍存在有较大的找矿空间。

除了前述3种单一的钼矿体之外,在其边部和



图 2 黑龙江岔路口钼多金属矿床东矿区地质简图(根据黑龙江省有色金属地质勘查 706 队 2010 资料改编<sup>①</sup>)  
1—第四系;2—侏罗系火山-沉积岩;3—新元古界—寒武系变质岩;4—古生代二长花岗岩;5—粗面岩;6—隐爆角砾岩;7—构造破碎带;  
8—矿化带;9—石英-绢云母带;10—泥化带;11—千枚岩化带

Fig. 2 Simplified geological map of the eastern mineralized district of the Chalukou molybdenum polymetallic deposit ,  
Heilongjiang Province( modified after No. 706 Nonferrous Metal Geological Party of Heilongjiang Province )  
1—Quaternary ;2—Jurassic volcano-sedimentary rocks ;3—Neoproterozoic-Cambrian metamorphic rocks ;4—Palaeozoic Monzogranite ;5—Meso-  
zoic trachyte ;6—Cryptoexplosion breccias zone ;7—Tectonic breccias zone ;8—Mineralized zone ;9—Quartz-sericite zone ;10—Argillaceous zone ;  
11—Phyllic zone

① 黑龙江省有色金属地质勘查 706 队. 2010. 黑龙江省大兴安岭松岭区岔路口铅锌多金属矿详查报告. 未刊资料. 1-45.

内部还发现和圈定有一系列产出规模大小不等和几何形态各异的银-铅-锌矿体。在目前所圈定的27条矿体中,有20条银-铅-锌矿体与钼矿体伴生,其余为独立产出的矿体。银-铅-锌矿化大都在前中生代变质岩和侏罗纪火山岩以及燕山期石英斑岩体内呈细脉状和团块状产出。单个脉状和透镜状矿体多呈北东向展布,向北西向倾斜,倾角 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ,长度为 $100\sim 1700\text{ m}$ ,平均值 $600\text{ m}$ ,厚度为 $1.3\sim 6.4\text{ m}$ ,平均值为 $3.2\text{ m}$ ,倾斜延伸 $200\sim 450\text{ m}$ ,平均值 $310\text{ m}$ 。代表性矿石样品铅、锌和银的平均品位分别为 $0.28\%$ 、 $0.99\%$ 和 $11\times 10^{-6}$ ,单个矿体铅、锌和银最高含量分别为 $1.65\%$ 、 $3.75\%$ 和 $216\times 10^{-6}$ 。无论是含矿侏罗纪酸性火山岩(英安岩和流纹岩),还是燕山期石英斑岩和花岗斑岩,它们均遭受到强烈的热液蚀变作用。从花岗斑岩体(石英斑岩体)中心地带向外,热液蚀变分带十分明显,依次为石英-钾长石化带、石英-绢云母化带、泥化带和青磐岩化带,其中前者 and 后者分别与钼矿化带和银-铅-锌矿化带具有密切的空间分布关系(刘翼飞等,2011;吕克鹏等,2010)。

初步的岩(矿)相学和矿物学研究表明,岔路口矿床的矿石类型为块状、浸染状、条带状和角砾状硫化物型矿石,钼华、钼铅矿和钼钙矿极为少见(刘翼飞等,2011;吕克鹏等,2010)。矿石的金属矿物主要有黄铁矿、辉钼矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿和磁黄铁矿,脉石矿物有石英、钾长石、萤石、绢云母、高岭石、绿泥石、方解石和绿帘石。辉钼矿大多呈鳞片状集合体或团块状不均匀散布在流纹岩、英安岩、花岗斑岩和石英斑岩内,其单一叶片的大小一般为 $2\text{ mm}\times 3\text{ mm}\sim 5\text{ mm}\times 5\text{ mm}$ ,最大者可达到 $8\text{ mm}\times 12\text{ mm}$ 。辉钼矿的产出方式有3种:①呈稠密浸染状或稀疏浸染状在火山岩或浅成侵入岩内产出;②呈单一叶片或叶片集合体在石英脉中沿绢云母或石英粒间空隙或微裂隙展布;③呈稀疏浸染状、薄膜状或星点状在石英脉内产出。

### 3 辉钼矿铼-钨同位素组成

#### 3.1 样品的采集与处理

用于铼-钨同位素年龄测定的8件辉钼矿样品均采自东矿区主要矿体的不同部位,这里不仅是钼多金属矿体的最厚处,同时也是钼含量相对较高、变化范围相对较小的地段。辉钼矿多呈鳞片状集合体

镶嵌在花岗斑岩体内,局部地段与黄铁矿和黄铜矿呈共生结构关系。需要提及的是,采样地段未见有强烈构造变形和热液蚀变现象。辉钼矿样品是采用特制工具直接从手标本上获取的,并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 $>98\%$ 。

#### 3.2 分析方法

辉钼矿样品的铼-钨同位素分析是国家地质实验测试中心铼-钨同位素年代学试验室完成的,样品的化学处理流程和质谱测定技术简述如下(Du et al., 2004; 杜安道等, 1994):准确称取所要分析的样品,通过长细颈漏斗加入到Carius管底部,缓慢加液氮到装有半杯乙醇的保温杯中,调节温度到 $-50\sim -80^{\circ}\text{C}$ 。把装好样品的Carius管放置到该保温杯中,通过长细颈漏斗把准确称取的 $^{185}\text{Re}$ 和 $^{190}\text{Os}$ 混合稀释剂加入到Carius管底部,再加入 $4\text{ mL HCl}$ (为 $10\text{ mol/L}$ 的 $\text{HCl}$ ), $4\text{ mL HNO}_3$ (为 $16\text{ mol/L}$ 的 $\text{HNO}_3$ )。当管底的溶液冰冻后,用丙烷氧气火焰加热封好Carius管的细颈部分,放入不锈钢套管内。轻轻放套管入鼓风烘箱内,待回到室温后,逐渐升温到 $230^{\circ}\text{C}$ ,保温 $12\text{ h}$ 。在底部冷冻的情况下,打开Carius管,并用 $40\text{ mL}$ 的水将管中溶液转入蒸馏瓶中。蒸馏分离Os的过程大体如下,于 $105\sim 110^{\circ}\text{C}$ 条件下蒸馏 $50\text{ min}$ ,用 $10\text{ mL}$ 水吸收蒸出的 $\text{OsO}_4$ ,用于ICP-MS等离子体质谱仪测定钨同位素比值。将蒸馏残液倒入 $150\text{ mL}$ 烧杯中待分离铼。萃取分离铼的过程如下,将第一次蒸馏残液置于电热板上,加热近干。加少量水,再加热到近干。重复两次以降低酸度。加入 $10\text{ mL NaOH}$ (为 $5\text{ mol/L}$ 的 $\text{NaOH}$ )稍微加热,转为碱性介质。转入 $50\text{ mL}$ 聚丙烯离心管中离心,取上清液转入 $120\text{ mL}$  Teflon溶液到分液的漏斗中,加入 $10\text{ mL}$ 丙酮,振荡 $5\text{ min}$ ,萃取铼,然后弃去水相。加 $2\text{ mL NaOH}$ (为 $5\text{ mol/L}$ 的 $\text{NaOH}$ )溶液到分液漏斗中,振荡 $2\text{ min}$ 。洗去丙酮相中的杂质,弃去水相,排丙酮到 $150\text{ mL}$ 已加有 $2\text{ mL}$ 水的烧杯中,在电热板上 $50^{\circ}\text{C}$ 加热以蒸发丙酮,加热溶液至干,然后加数滴浓 $\text{HNO}_3$ 和 $30\%$ 过氧化氢,加热蒸干以除去残存的铼。用数 $\text{mL}$ 稀 $\text{HNO}_3$ 溶解残渣,稀释到 $\text{HNO}_3$ 浓度为 $2\%$ ,于ICP-MS测定铼同位素比值。如含铼溶液中盐量超过 $1\text{ mg/mL}$ ,需采用阳离子交换柱除去 $\text{Na}^+$ (屈文俊等,2003)。

采用美国TJA公司生产的TJA PQ ExCell ICP-MS仪测定同位素比值。对于铼的测定,选择质量数

表 1 黑龙江岔路口钼多金属矿床辉钼矿铼-钨同位素测定结果  
Table 1 Re-Os isotopic analyses of molybdenite separates from the Chalukou molybdenum polymetallic deposit , Heilongjiang Province

样品编号	m/g	$\alpha(\text{Re})(\text{ng/g})$		$\alpha(\text{普 Os})(\text{ng/g})$		$\alpha(^{187}\text{Re})(\text{ng/g})$		$\alpha(^{187}\text{Os})(\text{ng/g})$		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	
CLK-16	0.05033	36444	328	0.0171	0.0118	22906	206	56.16	0.50	147.0 $\pm$ 2.2
CLK-20	0.05053	11793	108	0.0638	0.0293	7412	68	18.38	0.15	148.6 $\pm$ 2.2
CLK-28	0.05040	4518	41	0.0231	0.0059	2840	26	7.062	0.063	149.1 $\pm$ 2.3
CLK-30	0.05084	88478	835	0.0052	0.0234	55610	525	136.3	1.1	147.0 $\pm$ 2.2
CLK-31	0.05042	8225	66	0.0289	0.0296	5169	42	12.65	0.12	146.7 $\pm$ 2.2
CLK-33	0.05142	33758	285	0.0400	0.0232	21218	179	51.81	0.48	146.4 $\pm$ 2.2
CLK-61	0.05050	1699	17	0.0289	0.0059	1068	10	2.638	0.024	148.2 $\pm$ 2.3
CLK-63	0.05102	44675	388	0.0344	0.0292	28079	244	68.48	0.54	146.2 $\pm$ 2.1

测试单位 国家地质实验测试中心铼-钨同位素年代学实验室。

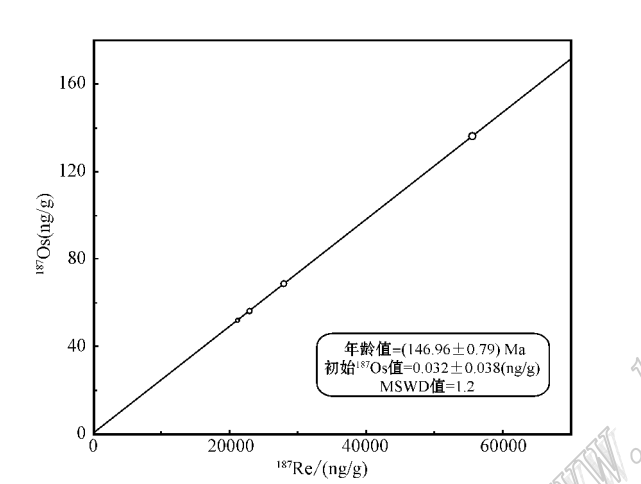


图 3 黑龙江岔路口钼多金属矿床辉钼矿铼-钨同位素等时线图

Fig. 3 Re-Os isotopic isochron diagram of molybdenite separates from the Chalukou molybdenum polymetallic deposit , Heilongjiang Province

185、187 ,用 190 监测钨。对于钨的测定 ,选择质量数为 186、187、188、189、190、192 ,用 185 监测铼。最后 ,所获铼-钨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  $\lambda(^{187}\text{Re})=1.66\times 10^{-11}\text{a}^{-1}$ 。

4 结果与讨论

4.1 矿床的形成时代

岔路口钼多金属矿床 8 件辉钼矿样品铼-钨同位素分析数据及其特征值列于表 1。在<sup>187</sup>Os 对<sup>187</sup>Re 图(图 3)中 ,所有 8 件辉钼矿样品分析数据均排列在一条直线上 ,相关系数>0.995。该直线对应的等时线

年龄值为(146.96 $\pm$ 0.79) Ma ,MSWD 值为 1.2 ,<sup>187</sup>Os 初始值为 0.032 $\pm$ 0.038。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?所测样品是否具有相同的物质来源?同位素体系是否处于封闭状态?在本次研究过程中 ,用于铼-钨同位素年代学研究的辉钼矿样品基本可以满足上述条件。此外 ,从岔路口钼多金属矿床所采到的辉钼矿样品具有以下几个特点 :① 所有 8 件辉钼矿样品均采自东矿区矿体的中心地段 ;② 辉钼矿呈稠密状或稀疏浸染状产出并与黄铁矿和黄铜矿呈共生结构关系 ;③ 8 件辉钼矿样品铼-钨同位素模式年龄值变化范围较小 (146.2~149.1 Ma ,平均值为 147.4 Ma) ;④ 采样地段未见强烈变形和热液蚀变现象 ;⑤ 所获辉钼矿样品铼-钨同位素等时线年龄值(146.96 $\pm$ 0.79)Ma 与根据地质体相互切割关系所确定的矿床形成时代大体吻合。

基于区域性金属矿床(点)成矿时代对比研究结果 ,同时考虑到岔路口钼多金属矿床的具体地质情况 ,故将(146.96 $\pm$ 0.79) Ma 看作为辉钼矿从含矿流体中沉淀与富集的时间。考虑到辉钼矿与黄铁矿和黄铜矿的空间分布关系 ,笔者有理由推测 ,上述 3 种金属矿物的形成时间大体相同 ,其形成时间均为晚侏罗世 ,属燕山中期构造-岩浆作用及相关流体活动的产物。

4.2 矿床成因

岔路口钼多金属矿床位于鄂伦春前寒武纪中间地块的中南部 ,与伊列克得-鄂伦春深大断裂相毗邻 ,属牙克石-根河钼-铅-锌-银-金-铜成矿带的重要组成部分(杨郧城 2010 ;杨祖龙等 2009 ;赵一鸣等 ,1994)。岔路口及邻区出露的地层(体)主要有侏罗



纪火山-沉积岩和隐爆角砾岩带以及海西期和燕山期浅成花岗岩类侵入岩,局部地段可见新元古代一早寒武世变质火山-沉积岩和海西期花岗岩类侵入岩(刘翼飞等,2011;吕克鹏等,2010;黑龙江省地质矿产局,1993)。部分学者将上述各类岩(体)层划分为2个构造层:一为前中生代变质火山-沉积岩基底及相关侵入岩;二为中生代火山-沉积岩盖层及相关侵入岩。与上述两大构造单元相对应的是若干个区域地壳演化阶段,即西伯利亚板块南缘侧向增生、鄂霍茨克洋盆闭合、陆-陆碰撞和造山后伸展(Meng, 2003; Ren et al., 1999; 黑龙江省地质矿产局, 1993)。另外,太平洋板片对华北-蒙古古块体侧向俯冲所产生的远程效应可能也对该区产生过一定影响。岔路口及邻区金属矿床(点)时空分布特点表明,其成矿作用与古大陆板块碰撞和对接以及造山期后伸展过程中所诱发的岩浆作用及相关流体活动密切相关。矿床成因类型、空间分布形态、形成时间和地质特征本身就是某种构造、岩浆和热事件的具体反映(焦建刚等,2010; Ludington et al., 2009a; 2009b; 聂凤军等,2007; 黄典豪等,1987)。

中生代早-中期,随着蒙古-鄂霍茨克(以下简称蒙-鄂)大洋板片对西伯利亚板块的持续俯冲,后者向南的侧向增生速率明显加快。蒙-鄂大洋盆地的萎缩和消失最终导致华北-蒙古块体与西伯利亚板块的对接碰撞(Meng, 2003; 黑龙江省地质矿产局, 1993)。随着两大块“焊接”为一个整体,岔路口及邻区进入到一个全新的地壳演化阶段。两大块体的碰撞致使区域地壳发生明显缩短和增厚,进而形成海拔较高的大兴安岭山脉(Meng, 2003)。与此同时,一系列北东向逆冲和推覆构造致使前中生代以及早-中侏罗世岩层(体)发生褶皱和动力变质作用,并且诱发中酸性岩浆活动。需要提及的是,强烈的构造-岩浆作用及相关热液活动可导致前中生代基底岩(体)层中钼、银、铅和锌含量明显增高,局部地段具代表性的中酸性火山岩样品中 $\omega(\text{Mo})$ 可达到 $(3\sim6)\times 10^{-6}$ ,为后来钼矿床的形成奠定了物质基础。

晚侏罗世受上部地壳重力塌陷,中-下地壳热软化和韧性流变效应的影响,岔路口及邻区开始从挤压转变为拉张状态,并且逐步达到碰撞造山后伸展作用高峰期(Meng, 2003)。需要指出的是,在上部地壳发生重力塌陷的同时,地壳下部蒙-鄂大洋板片的快速下沉可以导致壳、幔物质的部分熔融,并且通过熔融-同化-储集-均一化(MASH)机制形成含矿中

酸性岩浆(Ludington et al., 2009a; 2009b; Meng, 2003; 洪大卫等,2000)。强烈的中酸性火山喷发作用可沿北东向断裂带或在断陷盆地内形成巨厚的火山-沉积岩地层,并覆盖在前中生代基底构造层之上。另外,在不同方向断裂带的交汇部位,各种几何形态和不同产出规模的花岗岩类侵入岩体星罗棋布,其中部分岩体与钼矿化带具有密切的空间分布关系。钼的成矿作用是本区中生代构造-岩浆活动的重要组成部分,同时也是中酸性岩浆作用的继续和发展。富硅、碱质组分、铷和氟,而贫铁、镁、钙、锶和锆的岩浆在其上侵定位过程中,一方面自身可以发生结晶分异作用,另一方面遭受到早期岩(体)层的混染同化作用(聂凤军等,2007; 洪大卫等,2000; 赵一鸣等,1994; 黄典豪等,1987)。无论是哪种地质作用,它们均可导致挥发性组分( $\text{CO}_2$ 、F、Cl、 $\text{H}_2\text{O}$ )、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、W、Mo、U、Cu、Nb和Y等在岩浆房顶部或旁侧发生富集作用,进而产生含矿岩浆流体,并且沿构造薄弱地带沉淀形成一系列含矿石英脉、细脉和网脉,最终构成岔路口特大型钼多金属矿床。

## 5 结 论

(1)首次对岔路口钼多金属矿床中辉钼矿样品进行了铼-钨同位素分析,所获等时线年龄为 $(146.96\pm 0.79)\text{Ma}$  ( $2\sigma$ ),MSWD值为1.2, $^{187}\text{Os}$ 初始比值为 $0.032\pm 0.038$ ,钼多金属矿体的形成时间为晚侏罗世,属燕山中期构造-岩浆作用及相关流体活动的产物。

(2)鉴于辉钼矿大多呈浸染状分布于含矿花岗岩斑岩株和酸性火山岩中,并且与钼多金属矿体中黄铁矿和黄铜矿呈共生结构关系,因此,岔路口矿区含矿花岗岩斑岩和酸性火山岩的形成作用同样与燕山中期构造-岩浆活动有关。

(3)岔路口矿床及邻区地处西伯利亚板块与蒙古-兴安联合块体碰撞对接带的东南侧,各岩(体)层中钼、锌、铅、金和银含量是地壳克拉克值的几倍到几十倍,为各类金属矿床的形成奠定了物质基础,是开展隐伏金属矿床找矿勘查的首选地区。

(4)根据岔路口钼多金属矿床辉钼矿铼-钨同位素等时线年龄,并且结合矿区外围各类侵入岩(层)体的岩相学特征,可以认为,晚侏罗世大规模构造-岩浆作用及相关流体活动为钼多金属矿床的形成提供了动力、热力、热液和物质来源。



志 谢 本项研究的野外地质调查与采样工作得到黑龙江省有色金属地质勘查 706 队有关领导和技术人员的大力帮助,在此谨表衷心感谢。

## 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( 1 ): 339-347 ( in Chinese with English abstract ).
- Du A D, Wu S Q, Sun D Z, Wang S X, Qu W J, Richard M, Holly S, John M and Dmitry M. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC[ J ]. *Geostandard and Geoanalytical Research*, 28( 1 ): 41-52.
- Heilongjiang Bureau of Geology and Mineral Resources ( HLJBGM ). 1993. Regional geology of Heilongjiang Province[ M ]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-725 ( in Chinese with English abstract ).
- Hong D W, Wang S G, Xie X L and Zhang J S. 2000. Genesis of positive ( Nd ) granitoids in the Da Hinggan Mts-Mongolia orogenic belt and continental crustal growth[ J ]. *Earth Science Frontiers*, 7: 441-456 ( in Chinese with English abstract ).
- Huang D H, Wu C Y and Nie F J. 1987. Geological features and origin of the Jinduicheng porphyry molybdenum deposit, Shaanxi Province[ J ]. *Mineral Deposits*, 6( 3 ): 22-34 ( in Chinese with English abstract ).
- Jiao J G, Tang Z L, Qian Z Z, Yuan H C, Yan H Q, Sun T, Xu G and Li X D. 2010. Metallogenic mechanism, magma source and zircon U-Pb age of Jinduicheng granitic porphyry, east Qinling[ J ]. *Earth Science*, 35( 6 ): 1011-1022 ( in Chinese with English abstract ).
- Liu Y F, Nie F J, Sun Z J, Lu K P, Zhang K and Liu Y. 2011. Discovery of Chalukou super large scale molybdenum polymetallic deposit, northern Daxing ' anlin, China, and its significance[ J ]. *Mineral Deposits*, 30( 4 ): 759-764 ( in Chinese with English abstract ).
- Lu K P, Han L and Zhang J N. 2010. A preliminary analyses on the geological features and exploration criteria of the Chalukou molybdenum deposit[ J ]. *Heilongjiang Science and Technology Information*, ( 21 ): 31 ( in Chinese ).
- Ludington S, Hammarstrom J and Piatek N. 2009a. Low-fluorine stockwork molybdenite deposits[ R ]. U. S. Geological Survey Open-File Report 2009-1211, 9p.
- Ludington S and Plumlee G S. 2009b. Climax-type porphyry molybdenum deposits[ R ]. U. S. Geological Survey Open-File Report 2009-1215, 16p.
- Ludwig K R. 1992. Isoplot V. 2. 57: A plotting and regression program for radiogenic-isotope data[ M ]. U. S. geological survey open-file report 91-445, rev[ M ]. March 1992. 40p.
- Meng Q R. 2003. What drove late Mesozoic extension of the northern China-Mongolia tract[ J ]? *Tectonophysics*, 369: 155-174.
- Mutschler F, Wright E G, Ludington S and Abbott J T. 1981. Granite molybdenite systems[ J ]. *Econ. Geol.*, 76: 874-897.
- Nie F J, Jiang S H, Zhang Y, Bai D M, Hu P, Zhao Y Y, Zhang W Y and Liu Y. 2007. Metallogeny and ore prospecting of ore deposits occurring along the border region of China and Mongolia[ M ]. Beijing: Geol. Pub. House. 574p ( in Chinese ).
- 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 ).
- Ren J S, Wang Z X, Chen B W, Jiang C F, Niu B G, Li J Y, Xie G L, He Z J and Liu Z G. 1999. The tectonics of China from a global view-A guide to the tectonic map of China and adjacent regions [ M ]. Beijing: Geol. Pub. House. 1-32.
- Yang Y C. 2010. Metallogenic studies and prospecting orientation on Deerbugan metallogenic zone and adjacent area[ R ]. Post-Doctoral Research Report of Chinese Academy of Geological Sciences, 1-149 ( in Chinese with English abstract ).
- Yang Z L, Zhang D Q, Li J W, She H Q, Feng C Y and Dong Y J. 2009. Ore-forming types, metallogenic zoning and potential prospecting areas in southwestern sector of Deerbugan metallogenic belt[ J ]. *Mineral Deposits*, 28( 1 ): 53-62 ( in Chinese with English abstract ).
- Zhao Y M, Wang D W and Zhang D Q. 1994. Geological setting and exploration model for the polymetallic deposits occurring in the southeastern part of Inner Mongolia[ M ]. Beijing: Seismologic Press. 1-234 ( in Chinese ).

## 附中文参考文献

- 杜安道, 何红菱, 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.
- 黑龙江省地质矿产局. 1993. 黑龙江省区域地质志[ M ]. 北京: 地质出版社. 1-73.
- 洪大卫, 王试光, 谢锡林, 张季生. 2000. 兴蒙造山带正  $\epsilon(\text{Nd}, t)$  值花岗岩的成因和大陆地壳生长[ J ]. *地学前缘*, 7( 2 ): 441-456.
- 黄典豪, 吴澄宇, 聂凤军. 1987. 陕西金堆城斑岩钼矿床地质特征及成因探讨[ J ]. *矿床地质*, 6( 3 ): 22-34.
- 焦建刚, 汤中立, 钱壮志, 袁海潮, 闫海卿, 孙涛, 徐刚, 李小东. 2010. 东秦岭金堆城花岗岩体的锆石 U-Pb 年龄、物质来源及成矿机制[ J ]. *地球科学*, 35( 6 ): 1011-1022.
- 刘翼飞, 聂凤军, 孙振江, 吕克鹏, 张可, 刘勇. 2011. 岔路口特大型钼多金属矿床的发现及其意义[ J ]. *矿床地质*, 30( 4 ): 759-764.
- 吕克鹏, 韩龙, 张佳男. 2010. 叉路口钼矿床地质特征及找矿标志浅析[ J ]. *黑龙江科技信息*, ( 21 ): 31.
- 聂凤军, 江思宏, 张义, 白大明, 胡朋, 赵元艺, 张万益, 刘妍. 2007. 中蒙边境中东段金属矿床成矿规律和找矿方向[ M ]. 北京: 地质出版社. 574 页.
- 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.
- 杨耶城. 2010. 得尔布干成矿带及邻区成矿规律与找矿方向研究[ R ]. 中国地质科学院博士后研究报告. 1-148.
- 杨祖龙, 张德全, 李进文, 余宏全, 丰成友, 董英君. 2009. 得尔布干成矿带西南段矿床类型、成矿分带及找矿方向[ J ]. *矿床地质*, 28( 1 ): 53-62.
- 赵一鸣, 王大畏, 张德全. 1994. 内蒙古东南部铜多金属成矿地质条件及找矿模式[ M ]. 北京: 地震出版社. 1-234.