

文章编号:0258-7106(2005)06-0638-09

# 内蒙古额勒根斑岩型钼(铜)矿化区辉钼矿 铼-钨同位素年龄及地质意义\*

聂凤军<sup>1</sup>, 屈文俊<sup>2</sup>, 刘妍<sup>1</sup>, 杜安道<sup>2</sup>, 江思宏<sup>1</sup>

(1 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2 国家地质实验测试中心, 北京 100037)

**摘要** 为了查明额勒根矿化区斑岩型钼(铜)矿化发生的时间,对主要矿化体内 5 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(332.0 ± 9.0) Ma(2σ),其 MSWD 值为 0.29。鉴于辉钼矿呈浸染状分布于似斑状花岗闪长岩和花岗闪长斑岩体中,并且与黄铜矿和黄铁矿呈共生结构关系,推测额勒根地区斑岩型钼(铜)矿化体、似斑状花岗闪长岩和花岗闪长斑岩体的形成时间为早石炭世中期,均是海西中期构造-岩浆活动的产物。

**关键词** 地球化学;铼-钨同位素年龄;辉钼矿;斑岩型钼(铜)矿化体;额勒根;内蒙古

**中图分类号**: P618.65;P597+.3

**文献标识码**: A

额勒根(又称额勒根乌兰乌拉)是内蒙古自治区第八地质矿产勘查开发院(以下简称第八勘查院)、内蒙古自治区地质调查院和中国地质科学院矿产资源研究所(以下简称资源所)地质人员近两年在内蒙古阿拉善西北部发现的一处斑岩型钼(铜)矿化区。该区位于内蒙古额济纳旗赛汗桃来苏木(乡)内,东距额济纳旗达来呼布镇 220 km,南距甘肃酒泉市 320 km,地理坐标为东经 99°02′00″~99°03′09″,北纬 42°22′16″~42°23″(图 1)。预查区地处中国西北戈壁荒漠,区内人烟稀少,水源匮乏,生产和生活物资全部从外地运入。除少数几户牧民外,村镇和工矿企业皆无,为内蒙古西部生活最贫困和工作(生活)条件最艰苦的地区之一。

额勒根斑岩型钼(铜)矿化区及外围的区域地质调查和找矿勘查工作始于 20 世纪 50 年代末期,原甘肃地质矿产局所属地质队分别于 20 世纪 60 年代初和 70 年代末在本区开展过 1:100 万和 1:20 万区域地质调查和矿产普查,同时,还完成了 1:10 万和 1:5 万航空磁法测量工作,并且提交了相应的文字报告与图件。90 年代初,原内蒙古第一物化探队在该区开展了以找矿为目的的 1:20 万区域地球化学测

量,圈定出金、钼(铜)、铜和其他金属元素异常多处,为额勒根钼(铜)矿化区的发现奠定了基础。2004 年,资源所科技人员首次在额勒根地区开展了系统的地质调查、连续电导率(EH4)剖面测量和蚀变矿物填图(又称 PIMA 测量)工作,并且获得了一大批新的找矿信息。根据资源所科研人员所提供的钻孔位置,第八勘查院的地质人员分别在 ZK01-1、ZK02-1 和 ZK04-1 钻孔中发现了十余米到百余米厚的斑岩型钼矿体,进而将本区找矿勘查工作推向了一个新的阶段(内蒙古自治区第八地质矿产勘查开发院,2005)。

## 1 地质概述

### 1.1 成矿地质环境

额勒根斑岩型钼(铜)矿化区位于西伯利亚板块南缘的雀儿山—乌珠尔嘎顺地体内,其南部 16 km 处即是哈萨克斯坦—北山(哈北板块)与西伯利亚板块碰撞带对接带,即红石山—黑鹰山—六驼山深大断裂和哈北板块北缘的红石山—黑鹰山地体(图 1)(聂凤军等,2002a;2003;刘雪亚等,1995)。矿化区

\* 本文得到国家“973”项目(2002CB412606)和国家自然科学基金项目(40573025)的联合资助

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。通讯地址:北京市西城区百万庄大街 26 号。电话:(010)68999042;E-mail:nfj@mx.cei.gov.cn

收稿日期 2005-04-30;改回日期 2005-09-02。李岩编辑。

① 内蒙古自治区第八地质矿产勘查开发院,2005.内蒙古自治区额济纳旗钼(铜)矿地质普查成果汇报材料.内蒙古自治区地质勘查项目招标委员会办公室内部资料,1~32.

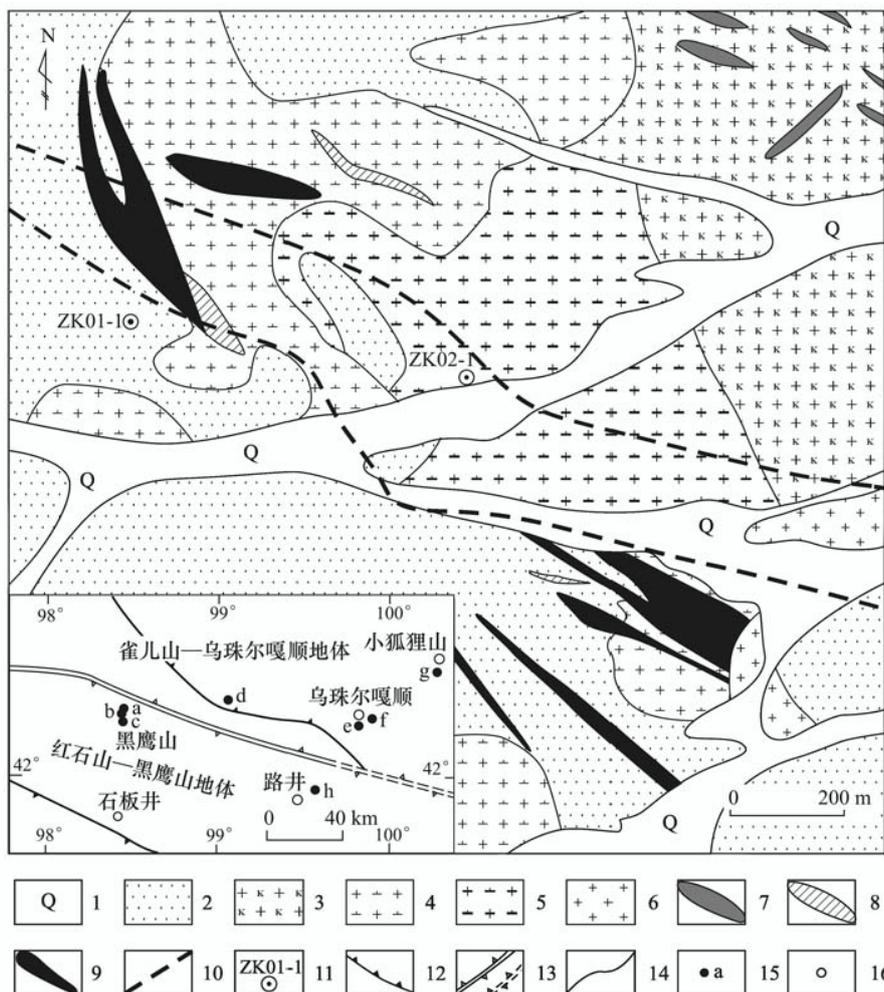


图 1 内蒙古阿拉善额勒根斑岩型钼（铜）矿化区地质略图

1—第四系；2—奥陶系咸水湖组火山-沉积岩；3—钾长花岗岩；4—似斑状花岗闪长岩；5—花岗闪长斑岩；6—中细粒花岗岩；7—长英质岩脉；8—闪长玢岩脉；9—斑岩型钼（铜）矿化体；10—推测斑岩型钼（铜）矿化带边界；11—见矿钻孔；12—古板块内部深大断裂带；13—实测及推测古板块俯冲带；14—地质界线；15—重要金属矿床及编号；16—居民点。金属矿床：a—黑鹰山火山岩型铁矿床；b—黑鹰山火山岩型钼矿床；c—流沙山斑岩型钼矿床；d—额勒根斑岩型钼（铜）矿化区；e—乌珠尔嘎顺砂卡岩型铁-铜矿床；f—乌珠尔嘎顺斑岩型铜矿化区；g—小狐狸山与花岗岩类侵入岩有关的稀有金属矿床；h—交叉沟前寒武纪变质岩型金矿床

Fig.1 Simplified geological map of the Elegen porphyry molybdenum (copper) mineralized area, northwestern Alxa, western Inner Mongolia, the insert showing its tectonic locality

1—Quaternary；2—Ordovician volcano-sedimentary rocks of Xianshuihu Formation；3—K feldspar granite；4—Porphyritic granodiorite；5—Granodiorite porphyry；6—Fine to medium-grained granite；7—Felsic dyke；8—Diorite porphyrite dyke；9—Porphyry molybdenum (copper) mineralized bodies；10—Inferred porphyry molybdenum (copper) mineralized zone；11—Ore-intersecting drilling hole；12—Deep-rooted faults within the paleo-block；13—Measured and inferred subduction zone of the paleo-plate；14—Geological boundary；15—Major ore deposit and its serial number；16—Village. Major ore deposits：a—Heiyingshan volcanic iron deposit；b—Heiyingshan volcanic yttrium deposit；c—Liushashan porphyry molybdenum (gold) deposit；d—Elegen porphyry molybdenum (copper) mineralized district；e—Wuzhuergashun skarn iron-copper deposit；f—Wuzhuergashun porphyry copper mineralized district；g—Xiaohulishan granite-related rare metal deposit；h—Jiaochagou Au deposit hosted by Precambrian meta morphic rocks

范围内出露的地层主要为奥陶系咸水湖组火山-沉积岩和第四系冲洪积物，咸水湖组主要由安山岩、安山质玄武岩和凝灰岩构成（内蒙古自治区地质矿产局，1991）。安山岩主要分布在矿区西部、西南部和西北部，岩石呈灰褐-灰绿色，斑状结构，块状构造，

斑晶为斜长石（5%，体积分数，下同），基质主要由斜长石（57%）和角闪石（35%）组成。第四系冲洪积物分布在矿区低洼处和沟谷中，由砂土和砾石构成。区内各类中酸性侵入岩体分布广泛，主要有海西中期钾长花岗岩，中细粒花岗岩、斑状花岗闪长岩和花

岗闪长斑岩,另外,闪长玢岩脉和长英质岩脉亦可见及(聂凤军等,2002a)。野外地质调查结果表明,中细粒花岗岩多呈岩枝状或岩株状零星分布在矿化区的西南一隅,并且侵位于奥陶系咸水湖组火山-沉积岩地层中,局部地段呈巨大的团块被似斑状花岗闪长岩体所包裹,为本区最早形成的侵入岩体之一(图1)<sup>①</sup>。此类岩体的代表性岩石样品呈灰白-浅肉红色,中细粒花岗结构,块状构造。主要造岩矿物有钾长石(38%)、斜长石(30%)、石英(26%)和黑云母(3%),副矿物为锆石、磁铁矿、磷灰石、钛铁矿、榍石和黄铁矿。似斑状花岗闪长岩呈岩株状分布在矿化区的中部,并且侵位于奥陶系咸水湖组火山-沉积岩地层中,局部地段侵入到中细粒花岗岩体中或被花岗闪长斑岩体所切割。此类岩体的代表性岩石样品为灰白色-浅肉红色,似斑状结构,块状构造。斑晶矿物为斜长石、角闪石和石英以及少量钾长石。基质为细-微粒花岗结构,主要矿物有斜长石、石英、角闪石和钾长石,其中斜长石含量明显高于石英、角闪石和钾长石。副矿物见有磁铁矿、锆石、榍石、黄铁矿和磷灰石。花岗闪长斑岩呈岩株状分布在矿化区的东南部,并且侵位于奥陶系咸水湖组火山-沉积岩地层中,局部地段被钾长花岗岩体所穿切和包裹。此类岩体的代表性岩石样品呈浅肉红色,斑状结构,块状构造。斑晶矿物主要有斜长石、石英、钾长石和少量角闪石。需要提及的是,斜长石斑晶多数为中更长石( $An = 25 \sim 35$ ),大多数晶体碎裂特征明显,个别晶体具有环带结构;石英斑晶为六方双锥状,熔蚀结构发育;钾长石斑晶多数为微斜条纹长石,晶体表面泥化明显;角闪石斑晶的菱形和柱状断面多被绢云母、伊利石、绿泥石和磁铁矿所充填。花岗闪长斑岩的基质为隐晶-细微粒结构,主要矿物有斜长石、石英、钾长石和泥质类矿物。副矿物有磁铁矿、钛铁矿、榍石、锆石、黄铁矿、磷灰石、辉钼矿和黄铜矿。从整体上看,斑岩体各部位岩性变化不大,相对均一,为额勒根矿化区最重要的容矿围岩。钾长花岗岩呈岩株状出露于矿化区的东北部,侵位于花岗闪长斑岩体中或包裹有似斑状花岗闪长岩块体。此类岩体的代表性样品呈肉红色-红褐色,中粗粒花岗结构,块状构造。主要造岩矿物有钾长石(45%)、斜长石(20%)、石英(25%)、黑云母(3%)和白云母

(3%),蚀变矿物为绢云母、伊利石和绿泥石。副矿物有锆石、磁铁矿、磷灰石、钛铁矿、榍石和黄铁矿。

除了上述各主要花岗岩类侵入岩外,矿化区范围内长英质岩脉(石英斑岩、细晶岩和石英斑岩)和闪长玢岩脉分布广泛,大部分岩脉分别侵入到奥陶系咸水湖组火山-沉积岩地层、中细粒花岗岩、似斑状花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、钾长花岗岩和钼(铜)矿化带中,据此可以推断,上述岩脉的形成时代明显晚于其他各类侵入岩体和钼(铜)矿体。根据野外地质观察结果,额勒根矿化区范围内各类侵入岩体和钼(铜)矿体的形成时间顺序大体如下(自古到新):中细粒花岗岩→似斑状花岗闪长岩→花岗闪长斑岩和钼(铜)矿体→钾长花岗岩→长英质(或镁铁质)岩脉<sup>②</sup>。从控矿构造方面讲,矿化区范围内褶皱和断裂构造均不甚发育,仅存有一单斜构造和几条规模较小和性质不明的断层(聂凤军等,2002a)。

## 1.2 矿化体地质特征

斑岩型钼(铜)矿化主要在海西期斑状花岗闪长岩、花岗闪长斑岩和奥陶系安山岩中呈细脉浸染状产出,局部地段沿斑状花岗闪长岩与安山岩地层接触带呈条带状分布。本文仅对斑状花岗闪长岩和花岗闪长斑岩内的钼(铜)矿化体地质特征进行简要介绍:①斑状花岗闪长岩为容矿围岩的铜矿化体:铜矿化大多在斑状花岗闪长岩岩株的露头上呈薄膜状、星点状或细脉浸染状沿岩体节理面分布,含铜矿物主要有孔雀石、黄铜矿和黄铁矿。矿化体长度为几十米到数百米,厚度为几十厘米到几十米。 $w_{Cu}$ 变化范围为0.12%~0.58%,平均值为0.24%; $w_{Au}$ 为 $(0.09 \sim 0.18) \times 10^{-6}$ ,平均值为 $0.24 \times 10^{-6}$ ;  $w_S$ 为0.11%~1.14%,平均值为0.63%。②花岗闪长斑岩为容矿围岩的铜矿化体:尽管在花岗闪长斑岩体的露头上几乎很难观察到任何铜矿化,但是在钻孔的浅部岩心中存在强烈的孔雀石化和褐铁矿化,而在较深部位的岩心中发现了细脉浸染状和星点状黄铜矿,矿化体厚度为143 m。 $w_{Cu}$ 变化范围为0.01%~0.12%,平均值为0.05%; $w_{Au}$ 为 $(0.03 \sim 0.14) \times 10^{-6}$ ,平均值为 $0.27 \times 10^{-6}$ (聂凤军等,2002a)。③斑状花岗闪长岩为容矿围岩的钼矿化体:2004年度,第八勘查院根据资源所科研人员所获EH-4和PI-MA测量结果,在其所施工的3个钻孔中均见到有

<sup>①</sup> 内蒙古自治区第八地质矿产勘查开发院,2005.内蒙古自治区额济纳旗钼(铜)矿地质普查成果汇报材料.内蒙古自治区地质勘查项目招标委员会办公室内部资料.1~32.

不等规模的钼矿化带,具体见矿情况如下:ZK01-1 钻孔中的见矿厚度为 344.13 m(从 184.11 m 到 526.24 m),所见钼矿体共 9 层( $w_{Mo} > 0.03\%$ ),矿化带的总厚度为 117.35 m;单矿体厚度变化范围为 2~37 m,  $w_{Mo}$  0.04%~0.08%。ZK02-1 钻孔中的见矿厚度为 222.30 m(从 161.24 m 到 383.62 m),所见钼矿体共有 6 层,  $w_{Mo}$  一般大于 0.03%。矿化带的总厚度 87.39 m,单矿体厚度 3.96~40.59 m,  $w_{Mo}$  为 0.04%~0.07%(厚度 12.6 m,从 252.42 m 到 265.02 m),  $w_{Mo}$  平均值为 0.062%。ZK04-1 钻孔中的见矿厚度为 190.5 m(从 193.20 m 到 383.71 m),所见钼矿体共 3 层,总厚度为 16 m;单矿体厚度变化范围为 2~8 m,  $w_{Mo}$  变化范围为 0.04%~0.08%。在大多数钼矿石中,辉钼矿呈细小鳞片状产出,单一叶片的大小一般为  $0.2 \times 0.005 \text{ m}^2 \sim 0.13 \times 0.02 \text{ m}^2$ 。在反光镜下,辉钼矿多为灰白色,微带蓝灰色,非均质性明显,45°位置的偏光色微带淡红紫色,实测反射率波长为 589 nm,  $R'_e = 31.53\%$ ,  $R'_w = 36.91\%$ 。辉钼矿的产出方式主要有 3 种,其一,呈稠密浸染状或稀疏浸染状在似斑状花岗闪长岩和花岗闪长斑岩体中产出;其二,呈薄膜状或星点状在石英脉两侧分布;其三,呈单一叶片状或叶片状集合体沿石英或钾长石粒间空隙或微裂隙(裂理)展布。

需要指出的是,额勒根斑岩型钼(铜)矿化区及外围水系沉积物铜-钼-金异常、激电和地磁异常星罗棋布,并且以分布面积大、异常值高、衬度清晰和分带明显为特征。另外,各类异常所在地段钾化、硅化、绢云母化和绿泥石化分布广泛,局部地段见有细脉状或浸染状黄铜矿、黄铁矿和辉钼矿,因此,额勒根矿化区外围同样是寻找隐伏钼(铜)矿床的有利地区。

## 2 辉钼矿铼-钨同位素组成

### 2.1 样品的采集与处理

用于铼-钨同位素年龄测定的 5 件辉钼矿样品分别采自额勒根矿化区 ZK01-1 号钻孔岩心的不同部位。该钻孔不仅位于钼(铜)矿化体最厚处,同时,也是钼含量相对较高和变化范围相对较小的地段<sup>①</sup>。

辉钼矿多呈鳞片状集合体镶嵌在斑状花岗闪长岩和花岗闪长斑岩中,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%。

### 2.2 分析方法

辉钼矿样品的铼-钨同位素分析是在国家地质实验测试中心铼-钨同位素年代学实验室完成的,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;2001):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~-80℃。把装好样的 Carius 管放置到该保温杯中,通过长细颈漏斗把准确称取的<sup>185</sup>Re 和<sup>190</sup>Os 混合稀释剂加入到 Carius 管底部,再加入 4 ml c(HCl) 为 10 mol/l 的 HCl,4 ml c(HNO<sub>3</sub>) 为 16 mol/l 的 HNO<sub>3</sub>。当管底溶液冰冻后,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℃,保温 12 h。在底部冷冻的情况下,打开 Carius 管,并用 40 ml 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 105~110℃条件下蒸馏 50 min,用 10 ml 水吸收蒸出的 OsO<sub>4</sub>。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 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,再加热近干。重复两次以降低酸度。加入 10 ml c(NaOH) = 5 mol/l 的 NaOH,稍微加热,转为碱性介质。转入 50 ml 聚丙烯离心管中,离心,取上清液转入 120 ml Teflon 溶液到分液的漏斗中,加入 10 ml 丙酮,振荡 5 min,萃取铼,然后弃去水相。加 2 ml c(NaOH) = 5 mol/l 的 NaOH 溶液到分液漏斗中,振荡 2 min,洗去丙酮相中的杂质,弃去水相,排丙酮到 150 ml 已加有 2 ml 水的烧杯中。在电热板上 50℃加热以蒸发丙酮,加热溶液至干,然后加数滴浓硝酸和 30%过氧化氢,加热蒸干以除去残存的钨。用数毫升稀 HNO<sub>3</sub> 溶解残渣,稀释到硝酸浓度为 2%,备 ICP-MS 测定铼同位素比值。如含铼溶

① 内蒙古自治区第八地质矿产勘查开发院, 2005. 内蒙古自治区额济纳旗钼(铜)矿地质普查成果汇报材料. 内蒙古自治区地质勘查项目招标委员会办公室内部资. 1~32.

液中盐量超过 1 mg/ml,需采用阳离子交换柱除去钠(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 185、187,用 190 监测钷。对于钷的测定,选择质量数为 186、187、188、189、190、192,用 185 监测铼。最后,所获铼-钷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,计算所用衰变常数为  $\lambda(^{187}\text{Re}) = 1.66 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$ 。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 斑岩型钼(铜)矿化体的成矿时代

额勒根斑岩型钼(铜)矿化区 5 件辉钼矿样品铼-钷同位素分析数据及其特征比值列于表 1。在  $^{187}\text{Os}$  对  $^{187}\text{Re}$  图(图 2)中,所有 5 件辉钼矿样品数据均排列在一条直线上,相关系数大于 0.995。该直线对应的等时线年龄值为  $(332.0 \pm 9.0) \text{ Ma}$  ( $2\sigma$ ), MSWD 为 0.29,等时线  $^{187}\text{Os}$  初始比值几乎为零。一般来讲,判别同位素等时线年龄是否具有地质意义的主要依据有 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? 本次研究过程中,用于铼-钷同位素年代学研究的辉钼矿样品基本上可满足上述条件。此外,额勒根矿化区内的辉钼矿有以下几个特点:①所有 5 件辉钼矿样品均采自同一期斑状花岗闪长岩;②辉钼矿呈稠密或稀疏浸染状产出,并且与黄铁矿和黄铜矿呈共生结构关系;③5 件辉钼矿铼-钷同位素模式年龄值变化范围较小( $336.5 \sim 340.6 \text{ Ma}$ , 平均值为  $338.3 \text{ Ma}$ );④采样地段未见强烈变形和热液蚀变现象;⑤所获辉钼矿铼-钷同位素等时线年龄值 [ $(332.0 \pm 9.0) \text{ Ma}$ ] 与矿化区西侧黑鹰山铁矿床

表 1 内蒙古额勒根斑岩型钼(铜)矿化区辉钼矿铼-钷同位素测定结果

Table 1 Re-Os isotopic analyses of molybdenite separates from the Elegen porphyry Mo (Cu) mineralized area, Inner Mongolia

样品编号	mg	Re $\pm 2\sigma$ ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )	$^{187}\text{Os} \pm 2\sigma$ ( $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ )	t/ Ma
ELG04.1	0.00300	326.682 $\pm$ 2.549	1162.80 $\pm$ 8.8	338.9 $\pm$ 3.9
ELG04.2	0.00332	259.367 $\pm$ 2.256	927.70 $\pm$ 6.9	340.6 $\pm$ 4.1
ELG04.3	0.00246	424.098 $\pm$ 3.619	1500.00 $\pm$ 12	336.9 $\pm$ 4.2
ELG04.4	0.00302	402.161 $\pm$ 4.250	1420.00 $\pm$ 11	336.2 $\pm$ 4.6
ELG04.5	0.00250	393.029 $\pm$ 3.159	1399.00 $\pm$ 11	338.9 $\pm$ 4.0

测试单位:国家地质实验测试中心铼-钷同位素实验室。

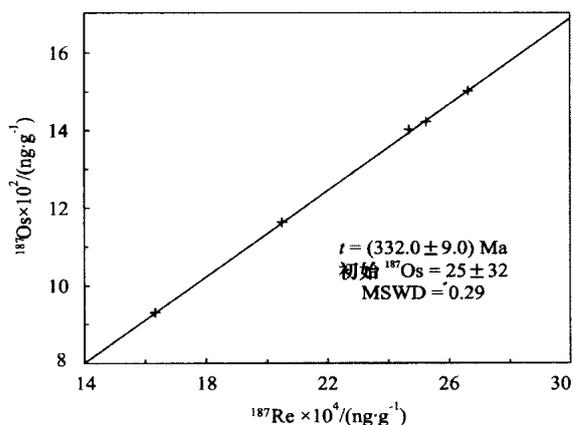


图 2 内蒙古阿拉善额勒根斑岩型钼(铜)矿化区辉钼矿铼-钷同位素等时线图

Fig.2 Re-Os isotopic isochron diagram of molybdenite in the Elegen porphyry molybdenum (copper) mineralized area, northwestern Alxa, western Inner Mongolia

的形成时代 [ $(322.0 \pm 4.3) \text{ Ma}$ , 聂凤军等,2005] 大体相似。

基于区域金属矿床成矿时代对比研究结果,并且考虑到额勒根矿化区的具体地质情况,故将  $(332.0 \pm 9.0) \text{ Ma}$  看作为辉钼矿从含矿流体中沉淀与富集的时间,考虑到钼(铜)矿化体与斑状花岗闪长岩体的空间分布关系,有理由推测,前者的形成时间略晚于后者。无论是斑岩型钼(铜)矿化体,还是斑状花岗闪长岩体或花岗闪长斑岩体,它们的形成时间均为早石炭世中期,属海西中期中酸性岩浆及相关热液上侵定位的产物。

#### 3.2 区域地壳演化与成矿作用

大量研究结果表明,在内蒙古北山地区分布有 2 个重要的金属成矿带,即额勒根—乌珠尔嘎顺铁-铜、铜、钼(铜)和稀有金属成矿带和黑鹰山—交叉沟铁、钼(金)和金成矿带,前者地处西伯利亚板块南缘的雀儿山—乌珠尔嘎顺地体内,而后者位于哈北板块北缘红石山—黑鹰山地体中东段(图 1)(聂凤军等,2002a;2003)。额勒根—乌珠尔嘎顺铁-铜、铜、钼(铜)和稀有金属成矿带主要由额勒根斑岩型钼(铜)矿化区、乌珠尔嘎顺砂卡岩铁-铜矿床、乌珠尔嘎顺铜矿化区和小狐狸山稀有金属矿化区组成,东西长 130 km,南北宽 5 ~ 30 km。成矿带范围内出露的岩层(体)主要为奥陶系和志留系火山-沉积岩以及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。相比之下,黑鹰山—交叉沟铁、钼(金)和金成矿带主要由黑鹰山铁矿

床、黑鹰山钼矿床、流沙山钼(金)矿床和交叉沟金矿床组成,东西长150 km,南北宽15~40 km。区内出露的岩层(体)主要为石炭系中酸性火山岩和花岗岩类侵入岩,局部地段见有前寒武系古陆壳残片,同样属活动陆缘岛弧构造环境。无论是额勒根—乌珠尔嘎顺铁-铜、铜、钼(铜)和稀有金属成矿带,还是黑鹰山—交叉沟铁、钼、钼(金)和金成矿带,均地处哈北板块,古亚洲洋壳和西伯利亚地台碰撞对接汇聚带,各主要构造-地层单元大都经历过中新元古代、加里东期和海西期构造运动,与之相对应的是哈北板块,古亚洲洋壳和西伯利亚地台长时期、多阶段俯冲、碰撞和对接作用,具体表现形式为广泛分布有火山岩和侵入岩,构造形迹十分复杂,金属矿床(点)星罗棋布(聂凤军等,2002a;2003;刘雪亚等,1995)。晚古生代(特别是石炭纪)是额勒根矿化区及外围大地构造演化历史的重要阶段,古亚洲洋壳沿红石山—清河口—黑鹰山一线分别向南、北两侧的哈北板块和西伯利亚地台发生长时间的双向俯冲作用(聂凤军等,2002a;刘雪亚等,1995)。受此次构造作用影响,一方面,在额勒根矿化区南侧形成红石山—黑鹰山地体,另一方面,在额勒根矿化区及其北侧,早期形成的雀儿山—乌珠尔嘎顺地体发生活化。强烈的中酸性岩浆侵位和喷发活动不仅形成了一套十分发育的岛弧型岩浆岩带,而且造就了一批重要的火山岩型铁矿床、火山岩型钼矿床、斑岩型铜矿床、斑岩型钼(金)矿床和矽卡岩型铁-铜矿床(杨敏之,2003;聂凤军等,2002a;2002b;2003;刘雪亚等,1995;宋学信,1989)。从区域金属矿床时空分布特征上看,黑鹰山铁矿床、黑鹰山钼矿床和流沙山钼(金)矿床均位于哈北地块北缘红石山—黑鹰山地体内部,成矿环境为晚古生代陆缘活动带,容矿围岩主要是岛弧环境中形成的流纹岩、英安岩、安山岩、花岗闪长岩、二长花岗岩和钾长花岗岩。无论是含矿中酸性火成岩,还是金属矿床,它们的形成均与古亚洲洋壳向南(哈北板块)俯冲时所诱发的构造-岩浆活动有关。与前述金属矿床相比,额勒根斑岩型钼(铜)矿化区、乌珠尔嘎顺矽卡岩型铁-铜矿床和乌珠尔嘎顺斑岩型铜矿化区均位于西伯利亚地台南缘雀儿山—乌珠尔嘎顺地体内,上述3处矿床与蒙古国南部欧玉陶勒盖斑岩型铜(金)矿床和查干苏布尔加斑岩型铜

(钼)矿床一样均在晚古生代岛弧环境内产出,容矿围岩为斑状花岗闪长岩、花岗闪长斑岩、二长岩、二长花岗岩和钾长花岗岩(Perello et al., 2001; Watanabe et al., 2000)。无论是金属矿床,还是含矿中酸性火成岩,其形成作用均与古亚洲洋壳向北(西伯利亚地台)俯冲时所诱发的构造-岩浆活动有关(张义等,2003;Gerel,1998)。

红石山—黑鹰山地体和雀儿山—乌珠尔嘎顺地体内所有中酸性火成岩和金属矿床同位素年龄数据(表2)对比研究结果表明,尽管额勒根矿化区及外围古生代构造-岩浆活动可从晚志留世一直延续到早二叠世,但是含矿花岗岩类侵入体的形成时代主要集中在中石炭世和晚石炭世—早二叠世(即海西中期和海西晚期)。与中酸性侵入岩体相比,额勒根矿化区斑岩型钼(铜)矿体和黑鹰山火山岩型铁矿床的成矿时代分别为 $(332.0 \pm 9.0)$  Ma和 $(322.0 \pm 4.3)$  Ma,明显晚于矿区外围早期二长花岗岩 $[(355.16 \pm 3.95)$  Ma],而早于英云闪长岩 $[(295.77 \pm 5.13)$  Ma和 $(273.03 \pm 3.8)$  Ma]、钾长花岗岩 $[(284.99 \pm 9.67)$  Ma]和晚期二长花岗岩 $[(271.78 \pm 2.81)$  Ma]。相比之下,流沙山钼(金)矿床同位素年龄值变化范围为273~287 Ma,平均值为280.75 Ma,与钾长花岗岩成岩时代 $[(284.99 \pm 9.67)$  Ma]较为接近。

为了能够较准确地厘定花岗岩类岩浆上侵定位和热液活动的时间关系,笔者曾对额勒根矿化区钾长花岗岩体中1件原生钾长石样品和1件强烈蚀变钾长花岗岩样品进行过 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄测定,所获等时线年龄值分别为 $(284.99 \pm 9.67)$  Ma和 $(249.12 \pm 17.45)$  Ma,两件样品同位素等时线年龄值相差39.84 Ma<sup>①</sup>。近期研究结果表明,对于同一个斑岩成矿体系来讲,岩浆结晶分异、上侵定位作用与相关热液活动的时限一般为几万年到几十万年,而不可能是几百万年(Perello et al., 2001; Watanabe et al., 2000),因此,额勒根矿化区强烈蚀变钾长花岗岩钾长石样品 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素年龄数值记录的是成矿期后构造或热事件发生的时间,而并非是岩体形成的时限。对于上述的推论,笔者的主要地质依据有:①额勒根矿化区内所有沉积岩、火山岩和侵入岩体均遭受到不同程度的热液蚀变作用,蚀变

① 聂凤军,江思宏,白大明,等. 2005. 内蒙古北山-阿拉善成矿远景区成矿规律、找矿方向及勘查技术方法(半年报). 内蒙古地质勘查项目招标委员会办公室内部资料. 1~16.

表2 额勒根斑岩型钼(铜)矿化区及邻区重要金属矿床矿石和岩体同位素年龄数据

Table 2 Isotopic age data of major ore deposits and granitoid intrusions in the Elegen porphyry Mo (Cu) mineralized area and its neighboring areas

样品编号	岩(矿)石名称	t/ Ma	测定对象和方法	数据来源
内蒙古额勒根乌兰乌拉斑岩型钼(铜)矿化区				
BZG-01	二长花岗岩	355.16 ± 3.95	钾长石 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 同位素等时线年龄	江思宏等 <sup>①</sup>
HSS01-12	英云闪长岩	295.77 ± 5.13	钾长石 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 同位素等时线年龄	江思宏等 <sup>①</sup>
HSS01-16	钾长花岗岩	284.99 ± 9.67	钾长石 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 同位素等时线年龄	江思宏等 <sup>①</sup>
HSS01-4	英云闪长岩	273.03 ± 3.8	钾长石 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 同位素等时线年龄	江思宏等 <sup>①</sup>
HSS01-15	二长花岗岩	271.78 ± 2.81	钾长石 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 同位素等时线年龄	江思宏等 <sup>①</sup>
ELG01-5*	钾长花岗岩	249.12 ± 17.45	钾长石 <sup>40</sup> Ar/ <sup>39</sup> Ar 同位素等时线年龄	江思宏等 <sup>①</sup>
内蒙古黑鹰山火山岩型铁矿床				
LYK-06-26	富铁矿石	322.0 ± 4.3	磷灰石钐-钕同位素等时线年龄(6件样品)	聂凤军等, 2005
内蒙古流沙山斑岩钼(金)矿床				
LSS-3-1	钼(金)矿石	280 ± 4.0	辉钼矿铼-钨同位素模式年龄	聂凤军等, 2002b
LSS-3-2	钼(金)矿石	287 ± 4.0	辉钼矿铼-钨同位素模式年龄	聂凤军等, 2002b
LSS-4	钼(金)矿石	283 ± 4.0	辉钼矿铼-钨同位素模式年龄	聂凤军等, 2002b
LSS-6	钼(金)矿石	273 ± 4.0	辉钼矿铼-钨同位素模式年龄	聂凤军等, 2002b
蒙古国查干苏布尔加斑岩铜(钼)矿床				
CT-29	铜(钼)矿石	370.1 ± 1.2	辉钼矿铼-钨同位素模式年龄	Watanabe et al., 2000
CT-51	钼(金)矿石	370.6 ± 1.2	辉钼矿铼-钨同位素模式年龄	Watanabe et al., 2000
蒙古国欧玉陶勒盖斑岩铜(金)矿床				
KAROT-9	铜(钼)矿石	411 ± 3	黑云母钾-氩同位素年龄	Perello et al., 2001
610599	岩盖	320 ± 3	原生明矾石钾-氩同位素年龄	Perello et al., 2001
611654	碱性花岗岩体	287 ± 2	钠闪石钾-氩同位素年龄	Perello et al., 2001

\* 为强烈钾长石化钾长花岗岩样品。

成因钾长石分布广泛; ②蚀变成因钾长石样品的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar值为315.72 ± 46.51, 均明显高于尼尔值(295.5), 反映了样品中存在大量过剩氩; ③<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar同位素年龄谱线起伏变化幅度较大; ④<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar同位素等时线MSWD值均大于50; ⑤蚀变成因钾长石脉切穿斑岩型钼(铜)矿化体。所有上述地质证据和同位素年代学研究结果均表明, 额勒根矿化区内成矿期前的和成矿期后的岩浆作用和热液活动均十分强烈, 为钼(铜)矿床的形成提供了动力、热力和物质来源。尽管研究区所在的中蒙边境中西段一带构造变形、岩浆热液活动和金属成矿作用可从晚志留世一直延续到早二叠世(表2), 但是额勒根钼(铜)矿化区范围内含矿斑状花岗闪长岩形成和斑岩型钼(铜)矿化发生的时间均为中石炭世, 属海西中期构造-岩浆活动的产物。

## 4 结 论

(1) 首次对内蒙古西部北山地区额勒根斑岩型

钼(铜)矿化区的辉钼矿进行了铼-钨同位素分析, 所获等时线年龄为(332.0 ± 9.0) Ma, MSWD值为0.29, 因此, 大规模钼矿化发生的时间为早石炭世中期, 属海西中期构造-岩浆活动的产物。

(2) 鉴于辉钼矿大多呈浸染状分布于斑状花岗闪长岩中, 并且与黄铁矿和黄铜矿呈共生结构关系, 因此, 额勒根斑状花岗闪长岩和铜矿化体的形成作用同样与海西中期构造-岩浆活动有关。

(3) 额勒根矿化区内斑岩型钼(铜)矿化体和含矿中酸性侵入岩体形成之后曾受到强烈的热事件叠加活动影响, 并且形成广泛分布的钾化蚀变带和钾长石细脉。

(4) 额勒根矿化区及外围主要分布有2种类型的钼矿化, 即斑岩型钼(铜)矿化和斑岩型钼(金)矿化, 前者主要在西伯利亚地台南缘雀儿山—乌珠尔嘎顺地体内出现, 形成时代为早石炭世中期, 后者主要在哈北板块北缘红石山—黑鹰山地体内产出, 形成时代为中石炭世晚期。两类钼矿化类型和形成时代的确定为开展钼矿床找矿勘查工作提供了依据。

① 江思宏, 聂凤军. 北山地区花岗岩类的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar同位素年代学研究. 待刊.

(5) 根据额勒根矿化区辉钼矿铼-钨同位素等时线年龄, 并且结合矿化区外围中酸性侵入岩体和金属矿床已有的同位素年代学数据, 可以认为, 内蒙古北山地区古亚洲洋壳、哈北板块和西伯利亚地台的俯冲、碰撞和对接始于中石炭世, 而终于早二叠世。板块构造作用所诱发的大规模岩浆活动为钼(铜)矿化带的形成提供了动力、热力、热液和物质来源。

**致谢** 本研究的野外地质调查与采样工作得到内蒙古第八勘查院贺中银总工程师、内蒙古地调院王新亮高级工程师的帮助, 谨表衷心感谢。

## References

- Du A D, He H L, Yin N W, et al. 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, Zhao D M, Wang S X, et al. 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, et al. 2004. Preparation and certification of Re-Os dating reference materials: Molybdenite HLP and JDC [J]. *Geostandard and Geoanalytical Research*, 28(1): 41 ~ 52.
- Gerel O. 1998. Phanerozoic felsic magmatism and related mineralization in Mongolia [J]. *Bull. Geological Survey of Japan*, 49: 239 ~ 248.
- Inner Mongolian Bureau of Geology and Mineral Resources (IMBGM). 1991. *Regional geology of Inner Mongolian Autonomous Region* [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 725 (in Chinese with English abstract).
- Liu X Y and Wang Q. 1995. Tectonics of the orogenic belts in Beishan Mt. western China and their evolution [J]. *Geol. Res. (Dixueyanjiu)*, 28: 37 ~ 48 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 1992. *Isoplot V.2.57: A plotting and regression program for radiogenic-isotope data* [R]. U. S. Geological Survey Open-File Report 91-445, Rev., March 1992. 40p.
- Nie F J, Jiang S H, Bai D M, et al. 2002a. Metallogeny and ore-prospecting of ore deposits occurring within the conjunction area of Inner Mongolia, Gansu and Xinjiang (Beishan Mt.), northwestern China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 499 (in Chinese with English abstract).
- Nie F J, Jiang S H, Zhao X M, et al. 2002b. Geological features and metallogenic type of the Liushashan gold (molybdenum) deposit in Ejin Qi, Western Inner Mongolia [J]. *Geology-Geochemistry*, 30 (1): 1 ~ 7 (in Chinese with English abstract).
- Nie F J, Jiang S H, Bai D M, et al. 2003. 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 F J, Jiang S H, Liu Y, et al. 2005. Sm-Nd isotopic age dating on apatite separates from the Heiyingshan high-grade iron deposits, Inner Mongolia [J]. *Mineral Deposits*, 24(2): 134 ~ 140 (in Chinese with English abstract).
- Perello J, Cox D, Garamjav D, et al. 2001. Oyu Tolgoi, Mongolia: Siluro-Devonian porphyry Cu-Au (Mo) and high-sulfidation Cu mineralization with a Cretaceous chalcocite blanket [J]. *Econ. Geol.*, 96: 1407 ~ 1428.
- 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).
- Song X X. 1989. Petrographic and geochemical features of the Heiyingshan iron deposit and its genesis [J]. *Bull. Institute of Mineral Deposits, CAGS*, 1: 69 ~ 79 (in Chinese with English abstract).
- Watanabe Y and Stein H J. 2000. Re-Os ages for the Erdenet and Tsagaan Suvarga porphyry Cu-Mo deposits, Mongolia, and tectonic implications [J]. *Econ. Geol.*, 95: 1537 ~ 1542.
- Yang M Z. 2003. Rich iron deposit types, ore formation series and ore prediction in Beishan area, Gansu Province [J]. *Contribution to Geology and Mineral Resources Research*, 18 (1): 6 ~ 12 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Y, Nie F J and Jiang S H. 2003. Discovery of the Oyu Tolgoi porphyry copper-gold deposits along the Sino-Mongolia border and its significance for further mineral exploration [J]. *Geol. Bull. China*, 22 (9): 708 ~ 712 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 杜安道, 何红蓼, 殷宁万, 等. 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, 等. 2001. Garius 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.
- 刘雪亚, 王 荃. 1995. 中国西部北山造山带的大地构造及其演化 [J]. *地质研究*, 28: 37 ~ 48.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. *内蒙古自治区区域地质志* [M]. 北京: 地质出版社. 1 ~ 725.
- 聂凤军, 江思宏, 白大明, 等. 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. 1 ~ 499.
- 聂凤军, 江思宏, 赵省民, 等. 2002b. 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, 江思宏, 白大明, 等. 2003. 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, 刘 妍, 等. 2005. 内蒙古黑鹰山富铁矿床磷灰石钐-钕同位素年龄及其地质意义 [J]. *矿床地质*, 24(2): 134 ~ 140.
- 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.

- 宋学信. 1989. 黑鹰山铁矿床岩石学、地球化学特征及成因[J]. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊, (1): 69~79.
- 张义, 聂凤军, 江思宏. 2003. 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, 22(9): 708~712.
- 杨敏之. 2003. 甘肃北山富铁矿床类型、成矿系列及成矿预测[J]. 地质找矿论丛, 18(1): 6~12.

## Re-Os isotopic age dating of molybdenite separates from Elegen porphyry Mo (Cu) mineralized area, northwestern Alxa, western Inner Mongolia

NIE Feng-jun<sup>1</sup>, QU Wen-jun<sup>2</sup>, LIU Yan<sup>1</sup>, DU An-dao<sup>2</sup> and JIANG Si-hong<sup>1</sup>

(1 Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China;

2 National Research Center of Geoanalysis, Beijing 10037, China)

### Abstract

Located in the southernmost part of the Queershan-Wuzhuergashun terrane along the southern margin of the Siberian block, Elegen is a large-size porphyry Mo (Cu) mineralized area in Alxa, western Inner Mongolia. Porphyry Mo (Cu) mineralization occurs within Hercynian porphyritic granodiorite and granodiorite porphyry stocks as veins, veinlets and disseminated blocks. Re-Os isotopic age dating of five molybdenite separates from the major porphyry Mo mineralized zone gives an isochron age of  $(332.0 \pm 9.0)$  Ma and model ages ranging from 336.5 to 340.6 Ma, 338.3 Ma on average. As the Re-Os isochron age is in agreement with field geological evidence, and molybdenite is coexistent with chalcopyrite, it is held that the Re-Os isochron age represents the ore-forming time of porphyry Mo (Cu) mineralization within Elegen area. Combined with field geological observations and petrological evidence, it is suggested that the ore-forming materials might have been derived from a mixed source of depleted mantle- and crust-derived magma or fluids. It has been noted that the Re-Os isochron age of molybdenites from the porphyry Mo (Cu) mineralized zone in Elegen is located in the middle of the age range of those unpublished  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age data for K feldspar separates from monzogranite, tonalite and K feldspar granite bodies. Field geological observations, petrological studies and geochronological analyses show that in the hydrothermal environment of Elegen,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age of K feldspar separates from the strongly altered intrusions may be partly or even significantly reset whereas Re-Os age records have preserved the primary mineralization event. The Re-Os isochron age of the five molybdenite separates in Elegen indicates that Early Carboniferous island-arc magmatism and relevant porphyry Mo (Cu) mineralization in the northwestern part of Alxa had been active before the Permian collision between the Siberian block and the Kazakhstanian-Beishan plate.

**Key words:** geochemistry, Re-Os isotopic age, molybdenite, porphyry molybdenum (copper) mineralized bodies, Elegen, Inner Mongolia