# 内蒙古哈达门沟地区泥盆纪金(钼) 矿化事件厘定的同位素证据

侯万荣<sup>1,2)</sup>,聂凤军<sup>1)</sup>,杜安道<sup>3)</sup>,刘翼飞<sup>1)</sup>,云飞<sup>1)</sup>,张可<sup>1)</sup>,刘勇<sup>1)</sup>,边红业<sup>2)</sup>,刘洪利<sup>2)</sup> 1)中国地质科学院矿产资源研究所,北京,100037;2)武警黄金第一总队,哈尔滨,150086; 3)国家地质实验测试中心,北京,100037

内容提要:乌拉山一大青山成矿带为华北板块北缘重要的金成矿带,其中蕴含哈达门沟一柳坝沟大型金(钼)矿 田,金(钼)矿床成矿时代和构造背景一直存在争议,长期被认为是中生代构造岩浆活动产物,最近在哈达门沟金矿 床深部发现了与金共生的石英脉型和钾化蚀变岩型钼矿化,笔者等利用 Re-Os 同位素分析方法,首次对与含金黄铁 矿共生的辉钼矿进行了年代学研究。4 件辉钼矿 Re-Os 同位素等时线年龄为 386.6±6.1Ma(MSWD=1.18),加权平 均年龄为 386.4±2.7Ma(MSWD=0.55),初始<sup>187</sup>Os 值为 -0.02±0.41。根据以上年龄值,并且结合其它地质证据, 可以推测,哈达门沟地区金矿化发生的事件可追溯到早泥盆世,属海西早期构造一岩浆活动事件。上述数据的取 得,对重新认识该区金矿成矿作用及区域地质演化历史有着重要的理论和实际意义。

关键词: 泥盆纪金(钼)矿化;辉钼矿 Re-Os 同位素年龄;哈达门沟金(钼)矿床;内蒙古

哈达门沟金矿床位于包头市北西方向,距包头 市 35km。中心地理坐标:东经 109°34′48″,北纬 40° 39'42"。该矿床自1986年发现以来就受到国内外 许多学者的关注,在此矿区开展了大量的研究工作, 积累了丰富的资料。由于此矿床地质情况复杂,所 以在矿床成因及成矿时代方面都还未取得统一的看 法。不同研究者曾利用不同方法对哈达门沟金矿床 进行过成矿年龄测定(聂凤军等,2005,1994; Hart et al., 2002; 孟伟等, 2002; 苗来成等, 2000; Zhang et al., 1999; 武警黄金指挥部, 1995; 李杰美, 1993; 郭 砚田,1992;郎殿有,1990),以往这些测年对象主要 为与金矿化比较密切的蚀变矿物和脉石矿物,采用 的同位素定年方法有 Ar-Ar 法、K-Ar 法、水热锆石 SHRIMP U-Pb 法、矿石全岩的 Rb-Sr 法等,其年龄数 据变化范围为477Ma~132Ma(表3),所测年龄数据 跨度范围较大。目前直接对金属矿床矿石矿物定年 最有效的方法是 Re-Os 法,测定的最好对象为金属 矿物共生的辉钼矿,这种方法保证被测矿物与成矿 的同时性。近年来,随着金矿勘查和开采工作的进 行,在哈达门沟金矿区深部和柳坝沟金矿区深部相 继发现了有工业意义的钼矿化,这不仅显示了在乌 拉山金矿集中区寻找钼矿的巨大潜力,也为采用辉 钼矿进行 Re-Os 同位素测定成矿时代提供了有利条 件。为了深化对哈达门沟乃至整个乌拉山地区金矿 成矿规律的认识,总结金矿集中区钼矿化的规律,指 导该区及外围金、钼矿进一步找矿勘查工作,精确定 年有着重要的理论和实际意义。为此,本文选取哈 达门沟金(钼)矿床 113 号矿脉中的辉钼矿进行了 Re-Os 同位素定年,并探讨其地质意义。

## 1 成矿环境及矿床地质

#### 1.1 成矿环境

哈达门沟金矿区位于华北板块北缘西段,区内 出露的地层主要有乌拉山群高级变质岩,岩性组合 为斜长角闪岩、片麻岩、磁铁石英岩、混合岩和大理 岩,其中前3类岩石常常构成金矿床的容矿围岩。 区域内构造形迹复杂,乌拉山复背斜呈东西向展布, 主要断裂有近东西向的包(头)一呼(和浩特)深大

注:本文为国家重点自然科学基金资助项目(编号 41030421)、危机矿山接替资源找矿项目(编号 20089948)、地质调查项目(编号 1212010911029)和基本业务费项目(编号 K1012)的成果。

收稿日期:2010-11-24;改回日期:2011-02-23;责任编辑:章雨旭。

作者简介:侯万荣,男,1968年生。高级工程师,在读博士。从事矿产勘查及矿床地质研究。通讯地址:100037,北京市百万庄大街26号, 中国地质科学院矿产资源研究所;Email:wanrong\_01@ sina.com。

断裂、临(河)一集(宁)深大断裂和北西向的土(默 特左旗)一固(阳)深大断裂,其中呼一包和临一集 两条深大断裂控制区内岩浆及金属矿床(点)的分 布,它们的分支次级 EW 向、NE 向及 NNE 向断裂为 重要的容岩(矿)构造(图1)。区内岩体和各类脉 岩发育,主要岩石类型有花岗岩、钾长花岗斑岩、石 英闪长岩、花岗闪长岩等。较大的岩体主要有矿区 西侧的大桦背花岗岩体和北部的沙德盖岩体。脉岩 主要有花岗斑岩脉、伟晶岩脉、辉绿岩脉等。形成时 代分别为古元古代、加里东期、海西期一印支期和燕 山期,各类伟晶岩脉分布广泛,并具与金矿化带具密 切空间分布关系(武警黄金指挥部,1995)。 哈达门沟矿床紧临乌拉山山前深断裂的北侧产 出,矿(化)体主要赋存于近东西向的次级脆、韧性 叠加断裂中。矿化类型分为石英一钾长石脉型、石 英脉型、钾长石化蚀变岩型和黄铁绢英岩化蚀变岩 型,按空间产出位置大致分为六个脉群,即1、13、 24、49、59和113号脉群(图2),每一个脉群内包括 若干条金矿脉,矿脉长度50~2200m,厚度0.60~ 9.51m,主要走向为近东西向,南倾,倾角60°~70°, 少数矿脉走向为北西向,如32、1号矿脉。其中113 号脉位于13号脉西部的乌兰不浪沟内,受近东西向 断裂控制,倾向南,倾角60°左右,地表出露长 3040m,厚度0.3~3.5m,平均厚度2m,目前控制最 大深度达500m。矿体多呈脉状、扁豆状、透镜状,常



图 1 内蒙古哈达门沟区域地质简图(根据中国人民武装警察部队黄金指挥部,1995,资料改编) Fig. 1 Simplified Geological Map of the Hadamengou Region(modified after the Gold Headquarters of the CPAF,1995) 1—断层及推测断层; 2—金矿床; 3—钼矿床; Mz—Cz—中—新生代陆相沉积岩; Pt<sub>2</sub>sr + Pt<sub>3</sub>zh—中元古界色尔腾山群和新元古界渣尔泰 群变质岩; Ar<sub>3</sub>wl —新太古界乌拉山群变质岩;  $\gamma_5^2$ —燕山期花岗岩;  $\gamma_4 - \gamma_5^1$ —海西期—印支期花岗岩;  $\delta_4 - \delta_5^1$ —海西期—印支期闪长岩;  $\gamma_3$ —加里东期花岗岩;  $\gamma_2$ —元古宙花岗岩;  $\delta_2$ —元古宙闪长岩 1—fault and speculated fault; 2—gold deposit; 3—molybdenum deposit; Mz—Cz—Mesozoic—Cenozoic continental sedimentary rocks; Pt<sub>2</sub>sr +

Pt<sub>3</sub> zh—Meso- to Neoproterozoic metamorphic rock of the Seertengshan and Zhaertai Groups; Ar<sub>3</sub> wl—Neoarchaean metamorphic rock of the Wulashan Group;  $\gamma_5^2$ —Yanshanian granite;  $\gamma_4 - \gamma_5^1$ —Hercynian—Indosinian granite;  $\delta_4 - \delta_5^1$ —Hercynian—Indosinian diorite;  $\gamma_3$ —Caledonian granite;  $\gamma_2$ —Proterozoic granite;  $\delta_2$ —Proterozoic diorite;

1.2 矿床地质



图 2 哈达门沟—柳坝沟金钼矿田地质简图 Fig. 2 Geological map of the Hadamengou—Liubagou Au—Mo orefield 1-金矿脉及编号;2-地质界线;3-断层;Q-第四系;Ar<sub>3</sub>wl-新太古界乌拉山群变质岩;Y<sub>4</sub><sup>3</sup>-海西晚期花岗岩;p-伟晶岩脉 1-gold ore vein and its number; 2-geological boundary; 3-fault;Q-Quaternary;Ar<sub>3</sub>wl-Wulashan group metamorphic rocks; Y<sub>4</sub><sup>3</sup>-granites; p-pegmatite veins

见尖灭再现、分支复合现象, Au 含量为 1.10×10<sup>-6</sup> ~8.18×10<sup>-6</sup>,平均5×10<sup>-6</sup>。2009年矿山地质技 术人员在1185 中段探采过程中发现辉钼矿化,辉钼 矿呈薄膜状、浸染状产出, Mo 品位 0.03%~0.2%, 平均0.046%●。矿化类型以含金黄铁矿—石英脉 型为主,次为含金钾化蚀变岩型。矿石结构有他形 细粒、压碎、交代残余、交代环边、交代假像、包含结 构等,矿石构造以致密块状为主,其次为脉状、网脉 状、角砾状和浸染状。金属矿物主要为黄铁矿,其次 有方铅矿、辉钼矿、黄铜矿、闪锌矿、辉铜矿、磁铁矿、 赤铁矿和镜铁矿等。脉石矿物以石英、钾长石和斜 长石为主,少量绢云母、石榴子石、铁白云石、方解 石、高岭石、萤石和绿泥石等。矿体顶底板的围岩蚀 变主要是钾长石化、硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸 盐化和黄铁矿化。成矿阶段可分石英—钾长石、钾 长石一石英一黄铁矿、石英一多金属硫化物、石英一 方解石等四个成矿阶段(中国人民武装警察部队黄 金指挥部,1995)。

## 2 辉钼矿 Re-Os 同位素年龄测定

#### 2.1 样品的采集与处理

本次研究的5件辉钼矿样品采自哈达门沟金矿

床 113 号金矿脉 1185 中段和 1305 中段,其中样品 H11311、WLS-8 采自 1305 中段,WLS-1 采自 1185 中 段,均为含辉钼矿的石英脉型金矿石;H11348、WLS-4 为含辉钼矿的钾长石化蚀变岩型金矿石。辉钼矿 在矿石中呈薄膜状、细粒状,细脉状,主要沿含金石 英脉和含金钾化蚀变岩的裂隙面分布,局部地段呈 浸染状与黄铁矿紧密共生。所有样品送至廊坊市科 大岩石矿物分选技术服务有限公司进行辉钼矿单矿 物挑选。选出的辉钼矿单矿物在显微镜下检查,纯 度(体积分数)大于 99%、晶体无氧化、无污染。考 虑到辉钼矿的颗粒大小对测定年龄的影响,辉钼矿 颗粒大容易引起辉钼矿测试年龄的失偶现象,我们 将辉钼矿其放置于玛瑙钵里进行研磨,使其粒度 < 0.05mm,最后对处理好的辉钼矿样品进行 Re-Os 同 位素分析。

#### 2.2 分析方法

辉钼矿样品的铼一锇同位素分析是国家地质实 验室测试中心铼一锇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,2009;2001;1994;屈文俊等, 2009;2003):准确称取待分析样品,通过细颈漏斗加 入到 Carius 管底部。缓慢加液氮到有半杯乙醇的 保温杯中,使成粘稠状(摄氏 -50~-80℃)。放装 好样品的 Carius 管到该保温杯中。用适量超纯浓 HCl 通过细颈漏斗把准确称取的<sup>185</sup> Re 和<sup>190</sup> Os 混合 稀释 剂转入 Carius 管底部。再依次加入 2mL 10mol/L HCl,4mL 16 mol/L HNO<sub>3</sub>和 1mL 30% H<sub>2</sub> O<sub>2</sub>,一定要注意一种试剂冻实后再加另一种试剂。 当 Carius 管底溶液冻实后,用液化石油气和氧气火 焰加热封好 carius 管的细颈部分。擦净表面残存的 乙醇,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 200oC,保温 24h。取 出,冷却后在底部冻实的情况下,先用细强火焰烧熔 Carius 管细管部分一点,使内部压力得以释放。再 用玻璃刀划痕,并用烧热的玻璃棒烫裂划痕部分。

将待打开的 Carius 管放在冰水浴中回温使内容物完全融化,用约 20mL 水将管中溶液转入蒸馏瓶中。把内装 5mL 超纯水的 25mL 比色管,放在冰水浴中,以备吸收蒸馏出的 OsO<sub>4</sub>。连接蒸馏装置,加 热微沸 30min。所得 OsO<sub>4</sub>水吸收液可直接用于 ICP-MS 测定 Os 同位素比值。将蒸馏残液转入 150 mL Teflon 烧杯中待分离铼。

将蒸馏残液置于电热板上,加热近干。加少量 水,加热近干。重复两次以降低酸度。加入10 mL ~5 mol/L NaOH,稍微加热,促进样品转为碱性介 质。转入Teflon 离心管中,加入10 mL 丙酮,振荡 1min 萃取 Re。离心后,用滴管直接取上层丙酮相 到150mL 已加有2mL 水的Teflon 烧杯中,在电热板 上50°C 加热除去丙酮,然后电热板温度升至120°C 加热至干,加数滴浓硝酸和 30% 过氧化氢,加热蒸 干以除去残存的 Os。用数滴 HNO,溶解残渣,用水 转移到小瓶中,稀释到适当体积,备 ICP-MS 测定 Re 同位素比值。

质谱测定采用美国 TJA 公司生产的电感耦合 等离子体质谱仪 TJA X-series ICP-MS 测定同位素比 值。对于 Re:选择质量数 185、187,用 190 监测 Os。 对于 Os:选择质量数为 186、187、188、189、190、192。 用 185 监测 Re。TJA X-series ICP-MS 测得的 Re、Os 和<sup>187</sup>Os 全流程本底值分别为(0.1145 ±0.0031) × 10<sup>-9</sup>、(0.0002 ±0.0001)×10<sup>-9</sup>、(0.0002 ±0.0000) ×10<sup>-9</sup>,远远小于所测样品和标样中的铼、锇含量, 不会影响测定结果。

本次测试过程中,实验室标准物质 GBW04436 (JDC)的标准值和测试结果见表 1,可以看出标准 值和测试值基本一致,说明本次测试结果是可靠的。

#### 2.3 数据处理及结果

经实验室测试分析,分别得出 Re、Os、<sup>187</sup> Re、<sup>187</sup> Re、<sup>187</sup> Os 的含量, 普 Os 是根据原子量表(WIESER,2006) 和同位素丰度表(Bohlkea et al.,2005),通过<sup>192</sup> Os/<sup>190</sup> Os 测量比计算得出, Re、Os 含量的不确定度包括样品和稀释剂的称量误差、稀释剂的标定误差、质谱测量的分馏校正误差、待分析样品同位素比值测量误差,置信水平95%。模式年龄的不确定度还包括衰变常数的不确定度(1.02%),置信水平95%。在此基础上根据公式

$$t = \frac{1}{\lambda} \left[ \ln\left(1 + \frac{^{187}Os}{^{187}\text{Re}}\right) \right]$$

 Table 1
 Certificated values and analytical data of Re-Os isotope for standard sample

GBW04436 (JDC)

护旦	百埕友	送香(a)	Re(µg∕g)		<sup>187</sup> Os(ng/g)		模式年龄(Ma)	
細写	尿杆石	作里(g)	测定值	不确定度	测定值	不确定度	测定值	不确定度
091214-19(标准)	JDC	0.10018	17.39	0.32	25.46	0.60	139.6	3.8
91214-19(测定)	JDC	0.10018	17.25	0.13	25.33	0.23	140.1	2.0

表 2 内蒙古哈达门沟金(钼) 矿床 113 号脉辉钼矿铼一锇同位素测定结果

Table2 Re-Os isotopic analyses of molybdenite from the Hadamengou

gold—molybdenum deposit, Inner Mongolia

丹口	样重	Re	(µg/g)	普0	s( ng/g)	<sup>187</sup> R	e(µg∕g)	<sup>187</sup> O	s(ng/g)	模式	年龄(Ma)
件亏	(g)	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	测定值	不确定度
H11311	0.02014	9.353	0.076	0.1162	0.0338	5.878	0.048	37.77	0.35	384.4	5.6
H11348	0.04786	10.9	0.09	0.0993	0.0286	6.853	0.058	44.59	0.42	389.3	5.8
WLS-1	0.04867	7.473	0.061	0.009	0.0238	4.697	0.038	30.25	0.25	385.3	5.5
WLS-4	0.08035	4.201	0.033	0.0331	0.0126	2.64	0.021	17.07	0.15	386.7	5.5
WLS-8	0.02658	5.013	0.042	0.0702	0.0356	3.151	0.027	22.18	0.19	421	6.1

计算出模式年龄值(表 2)。其中  $\lambda$ (<sup>187</sup> Re) = 1.666 ×10<sup>-11</sup>a<sup>-1</sup>(Smoliar et al.,1996)。最后,所获铼— 银同位素分析数据采用 Isoplot 软件作等时线和加 权平均值(Ludwig,1999)年龄图,得到铼—俄同位 素等时线(图 3)和加权平均值年龄(图 4)。从表中 铼—俄同位素可以看出:哈达门沟金矿床的辉钼矿 的 Re 含量为 4.201 ~ 10.90 $\mu$ g/g,<sup>187</sup> Re 含量为 2.640~6.853 $\mu$ g/g,<sup>187</sup>Os 的含量 17.07~44.59 ng/ g。成矿模式年龄为 384.4 ± 5.6Ma ~ 421.0 ± 6.1Ma, WLS-8 号样品模式年龄为 421.0 ± 6.1Ma, 可能是由于挑选样品不纯或污染,引起其模式年龄 偏大,其余4个样品模式年龄基本—致,其加权平均 值为 386.4 ± 2.7Ma,而且构成很好的等时线,等时 线年龄为 386.6 ± 6.1Ma。





Fig. 3 Re-Os isotopic isochron diagram of molybdenite from the Hadamengou gold—molybdenum deposit, Inner Mongolia

# 3 讨论

#### 3.1 辉钼矿 Re-Os 年龄及地质意义

金属硫化物 Re-Os 法可以直接测定金属矿床的 成矿年龄,是目前金属矿床定年最有效的方法之一, 而蚀变矿物及脉石矿物的 K-Ar、Ar-Ar, Rb-Sr 法,水 热锆石的 U-Pb 法,石英流体包裹体的 Ar-Ar、Rb-Sr 法等均是间接确定金属矿床成矿年代的方法。因 此,从方法学而言,辉钼矿 Re-Os 法直接表述了成矿 年龄,相比其他方法更为接近真实。本次获得哈达 门沟金矿床 113 号矿脉中辉钼矿 Re-Os 模式年龄为



#### 图 4 内蒙古包头市哈达门沟金(钼) 矿区 113 号脉中 辉钼矿 Re-Os 模式年龄加权平均值

Fig. 4 Re-Os weighted mean model age diagram of molybdenite from the Hadamengou gold—molybdenum deposit, Inner Mongolia

384.4±5.6Ma~421.0±6.1Ma,除WLS-8号样品模 式年龄由于挑选的样品不纯或污染,导致略有偏高 外,其余4个样品模式年龄基本一致,其加权平均值 为386.4±2.7Ma,而且构成很好的等时线,等时线 年龄为386.6±6.1Ma(MSWD=1.18),野外调查可 以看出,辉钼矿主要产于含金石英脉和含金钾化蚀 变岩的裂隙面,局部地段可见辉钼矿与含金黄铁矿 共生的现象,这表明钼矿化与金矿化是近于同期形 成或略晚于金矿化,所以辉钼矿的 Re-Os 年龄可以 代表113 号矿脉金、钼矿化的形成年龄。

无独有偶,东坪金矿蚀变岩型矿石中锆石 SHRIMP U-Pb年龄,存在380~385Ma的年龄数据 (李长明,2009)。白云鄂博Fe—Nb—REE矿床矿 石中辉钼矿 Re-Os年龄为439±8Ma(刘兰笙等, 1996)和黄铁矿 Re-Os年龄为439±86Ma(刘玉龙 等,2005),章雨旭等(2008)综合分析了白云鄂博群 及白云鄂博矿床的古生物学和年代学资料后认为可 以采信这一年龄为白云鄂博矿床的成矿年龄;白乃 庙矿床南矿带含矿石英脉黑云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar等时线 年龄为396±2Ma(李文博等,2008),也表明白乃庙 铜矿在泥盆纪有一期成矿作用,所以华北板块北缘 在400Ma左右这期矿化是普遍存在的。

近年来,相继在华北板块北缘发现了泥盆纪早期的岩浆岩,冀西北水泉沟碱性杂岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 390 ~ 386Ma(罗镇宽等, 2001),冀北承德地区的镁铁一超镁铁岩的侵位年





龄为 395Ma(Zhang et al.,2009),闪长岩为 390Ma (Zhang et al.,2007),内蒙古集宁三道沟地区的碱 性岩大约于 410Ma 侵位(Zhang et al.,2010),内蒙 古赤峰地区红山钾长花岗岩岩体年龄为(387 ± 4 Ma)(Shi et al.,2010),内蒙固阳地区的二长岩和闪 长岩形成于 400Ma 左右(张晓晖等,2010;曾俊 杰<sup>•</sup>),这些岩浆杂岩总体上沿华北板块北缘深大断 裂分布,表现出偏碱性特点,揭示出华北板块北缘当 时可能处于伸展构造背景(李锦轶等,2009;罗镇 宽,2001;张晓晖等,2010),华北板块北缘早一中泥 盆世处于弧陆碰撞后伸展阶段(张晓晖等,2010), 这些碱性杂岩形成于交代型大陆岩石圈地幔部分熔

融产生的碱性玄武质熔体的结晶分异及下地壳熔体的信化混染作用(Zhang et al., 2010;张晓晖等, 2010;Jiang, 2005),深部当时可能存在着地幔柱活动(李锦轶等, 2009)。

哈达门沟金矿床辉钼 矿的 Re-Os 年龄与这些成 矿成岩年龄的一致性,为 本区地质演化和成矿提供 重要信息。揭示出本区 金一钼矿化为华北板块北 缘大地构造演化和成岩成 矿事件的产物,是华北板 块北缘早泥盆世构造一岩 浆一热液事件的重要组成部分。

#### 3.2 哈达门沟金矿床成矿时代分析

近10多年来,许多研究者对哈达门沟金矿成矿 年代学进行了研究,获得大量年龄数据(表3),苗来 成等(2000)采用离子探针(SHRIMP)对矿体边部的 钾长石化蚀变岩锆石 U-Pb 测年,获得年龄为 132 ± 2Ma,认为哈达门沟金矿床应为燕山晚期成矿。聂 凤军等(2005)对内蒙古哈达门沟金矿区含金钾化 蚀变岩和金矿石中的绢云母样品进行 40Ar/39Ar 同 位素年龄测定,对应的同位素等时线年龄值分别为 322.58 ± 3.24 M 和 239.76 ± 3.04 Ma, 认为哈达门沟 地区金矿化发生的时间分别为海西中期和印支早 期,其中印支早期是金矿床的主要成矿时期。武警 黄金指挥部(1995)认为成矿时代为海西晚期。Hart 等(2002)测得矿脉与蚀变岩之间断层泥中铬云母 的最小年龄为351.4±0.8Ma,与矿带外围大桦背花 岗岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 353 ±7Ma 十分接 近,认为岩体为乌拉山金矿床成矿提供热动力来源。 本次获得的辉钼矿 Re-Os 年龄为 386Ma, 为海西早 期。这些年龄集中在132~139Ma、203~247Ma、270 ~287Ma、311~351Ma、477Ma 等几个时间段(图 5),这些年龄资料记录了哈达门沟金矿床复杂的金 矿床成矿演化史以及不同时期的构造—热事件信 息。哈达门沟金矿床位于华北陆块北缘,其北侧为 兴--蒙多旋回褶皱带(邵济安,1991),早古生代洋 盆的张开和洋盆的闭合(造山作用)必然影响到邻 侧的华北陆块北缘,为此哈达门沟金矿床在 386Ma 时的成矿作用是受北侧加里东造山运动的影响,为

表 3 哈达门沟金矿床同位素年龄表

Table 5 Isotope dating data of the Hadamengou gold dep	Fable 3	Isotope datin	g data of the	Hadamengou	gold	deposit
--	---------	---------------	---------------	------------	------	---------

测定对象	测定方法	年龄(Ma)	资料来源
钾化蚀变岩中水热锆石	SHRIMP U-Pb	132 ± 2	苗来成等,2000
含矿蚀变岩中钾长石	K-Ar	139.08 ± 3.31	李杰美等,1993
钾长石石英脉全岩	Rb-Sr	$203 \pm 45$	聂凤军等,1994
含矿蚀变岩中钾长石	K-Ar	$239.23 \pm 5.64$	李杰美等,1993
13 号脉绢云母	Ar-Ar	$240 \pm 3$	聂凤军等,2005
含矿蚀变岩中绢云母	K-Ar	247.65 ± 5.77	Zhang et al. ,1999
含矿蚀变岩中绢云母	K-Ar	270	郎殿有等,1990
含矿蚀变岩中绢云母	K-Ar	270	武警黄金指挥部,1995
13 号脉绢云母	K-Ar	276.1	孟伟等,1992
山前钾化带全岩	Rb-Sr	$287 \pm 24$	聂凤军等,1994
山前钾化带钾长石	K-Ar	311.5±6.1	武警黄金指挥部,1995
山前钾化蚀变带绢云母	Ar-Ar	323 ± 3	聂凤军等,2005
矿脉与钾化蚀变岩间断层泥中铬云母	Ar-Ar	$351.4 \pm 0.8$	C. J. R. Hart ,2002
113 号脉 1185 中段	Re-Os	386.6±6.1	本文
含矿蚀变岩中钾长石	K-Ar	477	武警黄金指挥部,1995

加里东褶皱造山作用之后弧一陆碰撞后伸展阶段的 岩浆一热液活动产物(Zhang et al., 2010; Jiang, 2005)。志留纪,形成白云鄂博铁一铌一稀土矿床 (章雨旭等, 2008),早泥盆世,在伸展背景下,引发 近东西走向的开原一崇礼一固阳大断裂(王东方, 1991)重新活动,导致深部岩浆、钾质流体和矿质向 上运移,并在有利空间定位,最终形成碱性杂岩体及 哈达门沟、东坪等金矿床(罗镇宽, 2001;李长明, 2009)。在此期间白云鄂博铁一铌一稀土矿床(裘 愉卓, 1997)、白乃庙铜一金矿(李文博等, 2008)可 能在原有矿化的基础上叠加新的矿化蚀变。

### 4 结论

(1)哈达门沟金矿床 113 号矿脉中辉钼矿 Re-Os 模式年龄为 384.4±5.6Ma~421.0±6.1Ma,其 加权平均值为 386.4±2.7Ma,等时线年龄为 386.6 ±6.1Ma(MSWD=1.18),表明 113 号矿脉金、钼矿 化时代为海西早期。

(2)哈达门沟金矿床成矿主要为海西早期,这 个时期在华北陆块北缘成矿具有普遍性,后期经历 了不同时期构造一热事件叠加。成矿作用是受北侧 加里东造山运动的影响,为加里东褶皱造山作用之 后回返的产物。在泥盆纪早期华北板块北缘处于 弧一陆碰撞后伸展构造背景,这种伸展环境引发近 东西走向的开原一崇礼一固阳大断裂重新活动,导 致深部岩浆、钾质流体和矿质向上运移,并在有利空 间定位,最终形成哈达门沟、东坪等金矿床及偏碱性 岩浆岩。

**致谢**:本文野外采样过程中得到了中国黄金集团包头鑫达黄金公司李伟总工程师,潘振宁、谢俊两位处长以及公司矿山技术人员的热情指导和帮助, 审稿人对本文提出了建设性的修改意见,使本文得以完善,在此表示衷心的感谢!

#### 注释 / Notes

- 内蒙古包头鑫达黄金矿业有限责任公司. 2008. 内蒙古包头市乌拉山一哈达门金矿区 2009 年地质探矿设计书. 1~26.
- 曾俊杰. 2009. 内蒙古固阳地区晚古生代埃达克质花岗岩特征及 其地质意义. 硕士学位论文. 北京:中国地质大学,1~78.

#### 参考文献 / References

- 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. 辉钼矿的铼一银同位素地质年龄测定方法研究.地质学报,68(4):339~347.
- 杜安道,屈文俊,李超,杨刚.2009.铼一锇同位素定年方法及分析测 试技术的进展.岩矿测试,28(3):288~304.

- 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—俄同位素地质年龄. 岩 矿测试,20(4):247~252.
- 郭砚天. 1992. 内蒙古乌拉山"哈德门沟式"金矿床成矿地质特征. 贵金属地质,1(2~3):191~195.
- 郎殿有.1990.内蒙古乌拉山金矿地质特征及成矿地质条件.内蒙古 地质,(2):30~40.
- 李长民,邓晋福,陈立辉,苏尚国,李惠民,胡森林,刘新秒.2010. 华北 北缘张宣地区东坪金矿中的两期锆石:对成矿年龄的约束. 矿床 地质,29(2):265~275.
- 李杰美,蔡尚波,祝登丰,关连绪.1993.内蒙古乌拉山地区金矿地质 特征及找矿预测.黄金地质科技,(2):14~20.
- 李锦轶,张进,杨天南,李亚萍,孙桂华,朱志新,王励嘉. 2009.北亚 造山区南部及其毗邻地区地壳构造分区与构造演化.吉林大学 学报(地球科学版),39(4):584~605.
- 李文博,陈衍景,赖勇.2008.内蒙古白乃庙铜金矿床的成矿时代和成 矿构造背景.岩石学报,24(4):890~898.
- 刘兰笙,高翎,杜安道,孙亚莉. 1996.白云鄂博稀土矿床中辉钼矿的 铼一锇同位素年龄.矿床地质,15(2):188~192.
- 刘玉龙,杨刚,陈江峰,杜安道,谢智. 2005.白云鄂博超大型稀土— 铌一铁矿床黄铁矿 Re-Os 定年.科学通报,50(2):172~175.
- 罗镇宽,苗来成,关康,裘有守, Qiu Yumin, McNaughton N J, Grove D I. 2001. 河北张家口水泉沟岩体 SHRIMP 年代学研究及其意义. 地球化学,30(2):116~122.
- 孟伟,陈小伍,李蒙文.2002.内蒙古哈达门沟金矿成矿时代及成矿阶 段研究.黄金地质,8(4):13~17.
- 苗来成, Qiu Yumin,关康, Mcnaughton N J,裘有守,罗镇宽, Groves D I. 2000. 哈达门沟金矿床成岩成矿时代的定点定年研究. 矿床 地质,19(2):182~190.
- 聂凤军,江思宏,刘妍,胡朋. 2005. 再论内蒙古哈达门沟金矿床的成 矿时限问题. 岩石学报,21(6):1719~1728.
- 聂凤军,裴荣富,吴良士,张洪涛,Bjorlykke A. 1994. 内蒙古乌拉山石 英一钾长石脉型金矿床铅和硫同位素研究. 矿床地质,13(2): 106~117.
- 裘愉卓. 1997. 白云鄂博独居石 SHRIMP 定年的思考. 地球学报,18 (增刊):211~213.
- 屈文俊,杜安道,李超.2009.金川铜镍硫化物样品中锇同位素比值的 高精度分析.岩矿测试,28(3):219~222.
- 邵济安.1991.中朝板块北缘中段地壳演化.北京:北京大学出版社,1 ~130.
- 王东方.1991. 开原一崇礼一固阳大断裂两侧超大型金银矿床预测和 探索. 贵金属地质,2(1):41~46.
- 张晓晖, 翟明国. 2010. 华北北部古生代大陆地壳增生过程中的岩浆 作用与成矿效应. 岩石学报, 26(5):1329~1341.
- 章雨旭,江少卿,张绮玲,赖晓东,彭阳,杨晓勇.2008.论内蒙古白云 鄂博群和白云鄂博超大型稀土一铌一铁矿床成矿的年代.中国 地质,35(6):1129~1137.
- 中国人民武装警察部队黄金指挥部.1995.内蒙古自治区哈达门沟伟 晶岩金矿地质.北京:地震出版社,89~108.
- Bohlkea J K, Laeter J R, Bievre P D. 2005. Isotopic Compositions of the Elements. Phys. Chem. Ref. Data, 34(1): 57~67.
- Craig J R. Hart, Richard J. Goldfarb, Qiu Yumin, Lawrence Snee, Lance D. Miller, and Marti L. Miller. 2002. Gold deposits of the northern margin of the North China Craton: multiple late Paleozoic— Mesozoic mineralizing events. Mineralium Deposita, 37(3~4): 326 ~351.

- Du Andao, Wu Shuqi, Sun Dezhong, Wang Shuxian, Qu Wenjun, Richard M H S, John M and Dmitry M. 2004. Preparation and Certification of Re-Os Dating Reference Materials: Molybdenite HLP and JDC. Geostandard and Geoanalytical Research, 28(1): 41 ~ 52.
- Jiang Neng. 2005. Petrology and geochemistry of the Shuiquangou syenitic complex, northern margin of the North China Craton. Journal of the Geological Society, London, 162:203 ~ 215.
- Ludwig K. 1999. Isoplot/Ex, version 2.0: a geochronogical toolkit for Microsoft Excel. Geochronology Center.
- Shi Yuruo, Liu Dunyi, Miao Laicheng, Zhang Fuqin, Jian Ping, Zhang Wei, Hou Kejun, Xu Junyu. 2010. Devonian A – type granitic magmatism on the northern margin of the North China Craton: SHRIMP U – Pb zircon dating and Hf – isotopes of the Hongshan granite at Chifeng, Inner Mongolia, China. Gondwana Research, 17: 632 – 641.
- Smoliar M I, Walker R J and Morgan J W. 1996. Re-Os ages of group II A, iii A, iy A and yi B iron meteorites. Science, 271: 1099 ~ 1102.

Wieser M E. 2006. Atomic weights of the elements ( IUPAC Technical

Report). Pure Appl. Chem., 78(11): 2051 ~ 2066.

- Zhang Hongtao , So Chilsup, Yun Seongtaek. 1999. Regional geologic setting and metallogenesis of central Inner Mongolia, China: guides for exploration of mesothermal gold deposits. Ore Geology Reviews, 14:129 – 146.
- Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Liu Xiaochun, Liu Dunyi, Chen Fukun, Xie Liewen and Chen Haihong. 2009. Late Paleozoic to early Mesozoic mafic—ultramafic complexes from the northern North China Block: Constraints on the composition and evolution of the lithospheric mantle. Lithos, 110: 229 ~ 246.
- Zhang Shuanhong, Zhao Yue, Song Biao and Liu Dunyi. 2007. Petrogenesis of the Middle Demonian Gushan diorite pluton on the northern margin of the North China block and its tectonic implications. Geological Magazine, 144: 533 ~ 568.
- Zhang Xiaohui, Zhang Hongfu, Jiang Neng, Zhai Mingguo and Zhang Yanbin. 2010. Early Devonian alkaline intrusive complex from the northern North China Craton: A petrologic monitor of post-collisional tectonics. Journal of the Geological Society (London), 167: 717 ~ 730.

# Isotopic Evidence for Determining the Devonian Gold and Molybdenum Mineralization in the Hadamengou Area, Baotou, Inner Mongolia

HOU Wanrong<sup>1,2)</sup>, NIE Fengjun<sup>1)</sup>, DU Andao<sup>3)</sup>, LIU Yifei<sup>1)</sup>, YUN Fei<sup>1)</sup>,

ZHANG Ke<sup>1</sup>, LIU Yong<sup>1</sup>, BIAN Hongye<sup>2</sup>, LIU Hongli<sup>2</sup>

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

2) The First Gold General Party of CAPF, Harbin, 150086;

3 ) National Research Center for Geoanalysis, Beijing, 100083

**Abstract**: Wula Mountains—Daqing Mountains, the important gold mineralization belts in the northern margin of the North China Block, host the large Hadamegou—Liubagou gold—molybdenum orefield, but ore-forming time and tectonic settings of the orefield are still in dispute and the orefield has long been considered the products of tectonic activity during the Mesozoic. Quartz vein-type and potassic alteration-type molybdenum mineralization paragenetic with gold was recently discovered at the depth of the Hadamengou gold deposit. Re-Os isotopic method in this study was employed to chronologically determine molybdenite paragenetic with Au-bearing pyrite. Four samples of molybdenite yielded an isochrone age of 386. 6 ± 6. 1 Ma (MSWD = 1. 18), with a weighted average of 386. 4 ± 2. 7 Ma (MSWD = 0. 55) and an initial 1870s value of  $-0.02 \pm 0.41$ . Combined with other geological evidence, our result suggests that the gold mineralization event at the Hadamengou area could date back to the Early Devonian, which indicates an event of tectonomagmatic activity occurring in the early Hercynian period. The data acquired above are of important significance, both theortically and practically, in further understanding the gold mineralization of this area.

Key words: Devonian Au—Mo mineralization; Re-Os isotopic age of molybdenite; Hadamengou Au (Mo) deposit; Inner Mongolia