

编号: 0258-7106 (2012) 01-0129-10

# 内蒙古林西县哈什吐钼矿床辉钼矿 铼-钨年龄及其地质意义\*

张可<sup>1,2</sup>, 聂凤军<sup>1\*\*</sup>, 侯万荣<sup>1,4</sup>, 李超<sup>3</sup>, 刘勇<sup>1,2</sup>

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037; 2 北京科技大学, 北京 100083; 3 国家地质实验测试中心, 北京 100037; 4 武警黄金第一总队, 黑龙江 哈尔滨 150086)

**摘 要** 内蒙古哈什吐矿床是新发现的钼矿床。为进一步查明哈什吐钼矿床的形成时间, 首次对主要钼矿体的 10 件辉钼矿样品进行铼-钨同位素分析, 所获铼-钨同位素模式年龄变化范围为  $(147.0 \pm 2.1) \text{ Ma} \sim (149.5 \pm 2.2) \text{ Ma}$ , 加权平均值为  $(148.22 \pm 0.67) \text{ Ma}$ , 获得等时线年龄为  $(148.8 \pm 1.6) \text{ Ma}$ , MSWD 值为 0.95。铼-钨同位素年代数据及野外地质证据表明, 哈什吐钼矿床为晚侏罗世构造-岩浆作用及相关流体活动的产物。哈什吐钼矿床辉钼矿的  $\mu(\text{Re})$  介于  $(0.65 \sim 2.06) \times 10^{-6}$ , 平均值为  $1.28 \times 10^{-6}$ , 通过与区域内同时期形成的若干相似类型钼矿床的 Re 含量对比分析, 初步推测认为哈什吐钼矿床成矿物质源区具有更偏向于壳源的特征。哈什吐斑岩型钼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-钨同位素测年, 钼矿床, 斑岩型, 晚侏罗世, 内蒙古

**中图分类号**: P618.65

**文献标志码**: A

## Re-Os isotopic age dating of molybdenite separates from Hashitu Mo deposit in Linxi County of Inner Mongolia and its geological significance

ZHANG Ke<sup>1,2</sup>, NIE FengJun<sup>1</sup>, HOU WanRong<sup>1,4</sup>, LI Chao<sup>3</sup> and LIU Yong<sup>1,2</sup>

(1 MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China; 2 University of Science & Technology of Beijing, Beijing 100083, China; 3 National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037, China; 4 No. 1 General Gold Party of CAPF, Harbin 150086, Heilongjiang, China)

### Abstract

Located in the eastern part of the southern Da Hinggan Ling Late Paleozoic orogenic belt between the Silas Wood Aaron River and the Erlian-Hegenshan structure zone, the newly discovered Hashitu ore deposit is a medium-size porphyry molybdeum deposit occurring in east-central Inner Mongolian. The Hashitu granite porphyry and biotite granite were emplaced in the widespread Quaternary sedimentary sequence in the Hashitu mineralized area. The granite porphyry intruded into the biotite granite in a slightly later period, and the two granite intrusions made up a Yanshanian complex. The Mo mineralization occurred entirely in the two types of Mesozoic granitic intrusive rocks in stratiform, lenticular and chambered forms at large steep angles. The metallic minerals of the ores from Hashitu are mainly molybdenite and subordinately pyrite, chalcopyrite, pyrrhotite, arsenopyrite

\* 本文得到国家重点自然科学基金项目(41030421)和地质调查项目(1212010911029)资助

第一作者简介 张可, 男, 1987 年生, 硕士研究生, 矿产普查与勘探专业。Email: zkustb@163.com

\*\* 通信作者 聂凤军, 男, 1956 年生, 研究员, 博士生导师, 主要从事金属矿床和地球化学研究。Email: nfjj@mx.cei.gov.cn

收稿日期 2011-08-14; 改回日期 2011-12-08。张绮玲编辑。

and galena, whereas the gangue mineral assemblage consists of mainly quartz, sericite and subordinately chlorite, epidote, fluorite and feldspar. Re-Os isotopic age dating of ten molybdenite separates from No. 1 Mo ore body yielded an isochron age of  $(148.8 \pm 1.6)$  Ma and model ages ranging from  $(147.0 \pm 2.2)$  Ma to  $(149.5 \pm 2.3)$  Ma with an average of  $(148.22 \pm 0.67)$  Ma. As the age is in agreement with field geological evidence, the authors hold that the molybdenum was concentrated from the Mo-bearing hydrothermal fluid after the intrusion of the granite porphyry and biotite granite during the Late Jurassic period. The Re content of molybdenite is  $(652 \sim 2\ 055) \times 10^{-9}$ , averaging  $1\ 284 \times 10^{-9}$ . The content of Re in the Hashitu Mo deposit in comparison with the Re values of other molybdenum-bearing deposits indicates that the ore-forming materials of the Hashitu Mo deposit might have been derived mainly from the crustal source.

**Key words:** geochemistry, Re-Os isotopic dating, Hashitu Mo deposit, Yanshanian period, Inner Mongolia

20 世纪 80 年代以来,随着找矿勘查技术和理论水平的提高及地质勘查投入力度加大,中国地质工作者在华北地台北缘先后发现了小东沟、车户沟、碾子沟、鸡冠山、库里吐、大苏计和敖伦花等大中型钼矿床,使得该区钼矿找矿工作实现了巨大的突破。2006 年以来,在内蒙古乌拉特后旗发现了查干花大型钼矿床(席忠等,2010;蔡明海等,2011),在苏尼特左旗先后又发现了乌日尼图(中型)、乌兰德勒(大型)、达赖敖包(中型)、准苏吉花(中型)、乌花敖包(小型)及林西县境内的哈什吐(中型)等一大批钼矿床(陶继雄等,2009;2010)。找矿实践表明,华北地台北缘具有极大的钼成矿和找矿潜力,有可能成为继东秦岭钼矿带和燕辽钼矿带之后的又一处大型钼成矿带(侯万荣等,2010;刘翼飞等,2012)。从矿床类型来看,这些钼矿床大多与印支期和燕山期浅成中酸性侵入岩有关,属斑岩型钼矿床。对于已找到的钼矿床,前人不仅就单个矿床展开过解剖性研究(聂凤军等,2007b;张彤等,2009;马星华等,2009;陶继雄等,2009;席忠等,2010;蔡明海等,2011),而且对区域矿床时空分布特征及成矿动力学背景也进行过探讨(侯万荣等,2010),取得了许多新进展。对近 5 年新发现的多处重要钼矿床,还没有作较多研究,特别是对哈什吐钼矿床的研究非常薄弱,尚未见深入报道,从而制约了人们对该地区钼矿床形成机制和成矿规律的进一步认识。

哈什吐及其邻区系统的地质调查工作始于 20 世纪 50 年代末期。1959 年,原内蒙古地质局在该区进行过 1:100 万区域地质调查,为后期工作奠定了基础。1968~1971 年,原辽宁省第二区域地质测量队在该区开展过 1:20 万区域地质调查;1984~1987

年,原内蒙古第一区域地质调查队在本区开展 1:5 万区域地质调查,对哈什吐及邻区岩浆活动期次进行了详细划分,并且对区域矿产分布特点进行了初步总结。2007 年,在前人工作基础上,内蒙古赤峰地质矿产勘查开发院在本区针对铜和钼等多金属矿床开展了普查地质工作,并且发现了矿区 I 号和 II 号钼矿体,同时确认了矿体围岩为似斑状黑云母花岗岩和花岗斑岩(辽宁省地质勘察院,2010)<sup>①</sup>。迄今为止,发现和圈定钼矿体的金属资源量已达到中型规模,并且以矿体相对集中、品位较高和组分简单为特征。

哈什吐钼矿床的成矿地质特征与内蒙古中东部已发现的部分钼矿床存在很多相似之处,也存在着明显差别。对于一个新发现的钼矿床而言,厘清其成矿时代是探讨矿床成因最基本的科学问题,因此,本次研究在前人的工作基础上,对钼矿床进行了野外地质调查和岩(矿)相学研究,并且选取代表性辉钼矿样品进行了铼-钼同位素测定,为本地区地质研究和找矿勘查工作提供理论依据。

## 1 区域地质背景

哈什吐钼矿床位于赤峰市林西县新林镇境内,南距林西县政府所在地 70 km,地理坐标为北纬  $44^{\circ}03'30'' \sim 44^{\circ}05'30''$ ,东经  $117^{\circ}58'00'' \sim 118^{\circ}05'00''$ (图 1)。在大地构造位置上,位于西拉沐伦河断裂与二连-贺根山断裂(缝合带)之间的大兴安岭南段晚古生代增生造山带(徐志刚,1997;马星华等,2009)。自古生代到中生代经历过古亚洲构造-成矿域与环太平洋构造-成矿域的转换和强烈叠加,因此,哈什

① 辽宁省地质勘察院,2011. 内蒙古自治区林西县哈什吐东梁钼铜多金属矿区 2010 年工作总结报告.

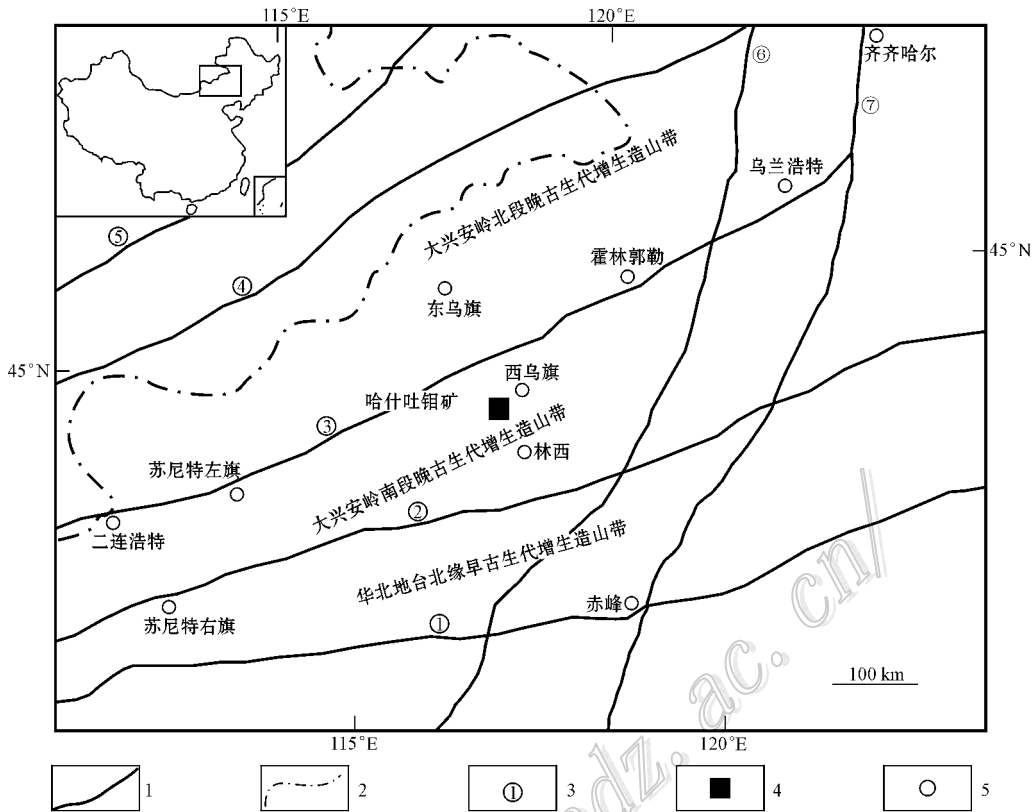


图 1 哈什吐钼矿床区域地质背景简图(据刘建明等, 2004 修改)

1—主要断裂; 2—国界线; 3—断裂编号; 4—研究区; 5—城镇

主要断裂: ① 华北克拉通北缘深断裂; ② 西拉木伦河断裂; ③ 二连-贺根山深断裂; ④ 乌努尔鄂伦春断裂; ⑤ 德尔布干断裂; ⑥ 大兴安岭主脊断裂; ⑦ 嫩江深断裂

Fig. 1 Simplified map showing regional tectonic geological setting of the Hashitu Mo deposit (modified after Liu et al., 2004)

1—Main faults; 2—National boundaries; 3—Serial number of fault; 4—Study area; 5—Town

Main faults: ① Northern margin deep fault of North China craton; ② Silas Mulun fault; ③ Erlian-Hegenshan deep fault; ④ Wunuer orogenic fault; ⑤ Deerbugan fault; ⑥ Da Hinggan Ling main ridge fault; ⑦ Nenjiang deep fault

吐及其邻区各期次岩浆岩发育、构造形迹复杂,造就了本区优越的成矿地质条件,显现出良好的找矿前景(陈良等, 2009)。

区内出露地层主要有古生界和新生界,其中古生界地层为上石炭统本巴图组。本巴图组地层可以划分为 2 个岩性段:第一岩性段为一套细碧岩、玄武岩、辉绿岩夹硅质岩和泥质板岩;第二岩性段为一套巨厚的层状粉砂质板岩。受后期构造运动影响,各地层单元形成一系列紧密褶皱和叠瓦状逆冲推覆断裂。新生界为第四系冲积物、亚砂土及风成砂。

各类侵入岩分布广泛,其形成时间可从海西中期一直持续至燕山晚期。海西-印支期花岗闪长岩呈岩基状侵入于石炭系地层,出露面积为 100 km<sup>2</sup>。燕山期侵入岩因受区域断裂多期次活动影响,区域

上呈北东向分布,岩性主要为中粒钾长花岗岩、中细粒似斑状黑云母花岗岩、花岗斑岩及石英二长斑岩,出露面积为 200 km<sup>2</sup>。

由于哈什吐及邻区位于西拉沐伦河和二连-贺根山两大深大断裂之间,因此受区域断裂的影响,发育有一系列北西向和近南北向断裂构造,并且控制着侵入岩的空间分布形态,次一级的北东向、北西向和南北向断裂常被后期脉岩所填充。

## 2 矿床地质特征

哈什吐矿区多为燕山期侵入岩和第四系洪积物、冲积物所占据,完整的古生界和中生界地层单元极少见到。侵入岩主要为花岗斑岩和似斑状黑云母

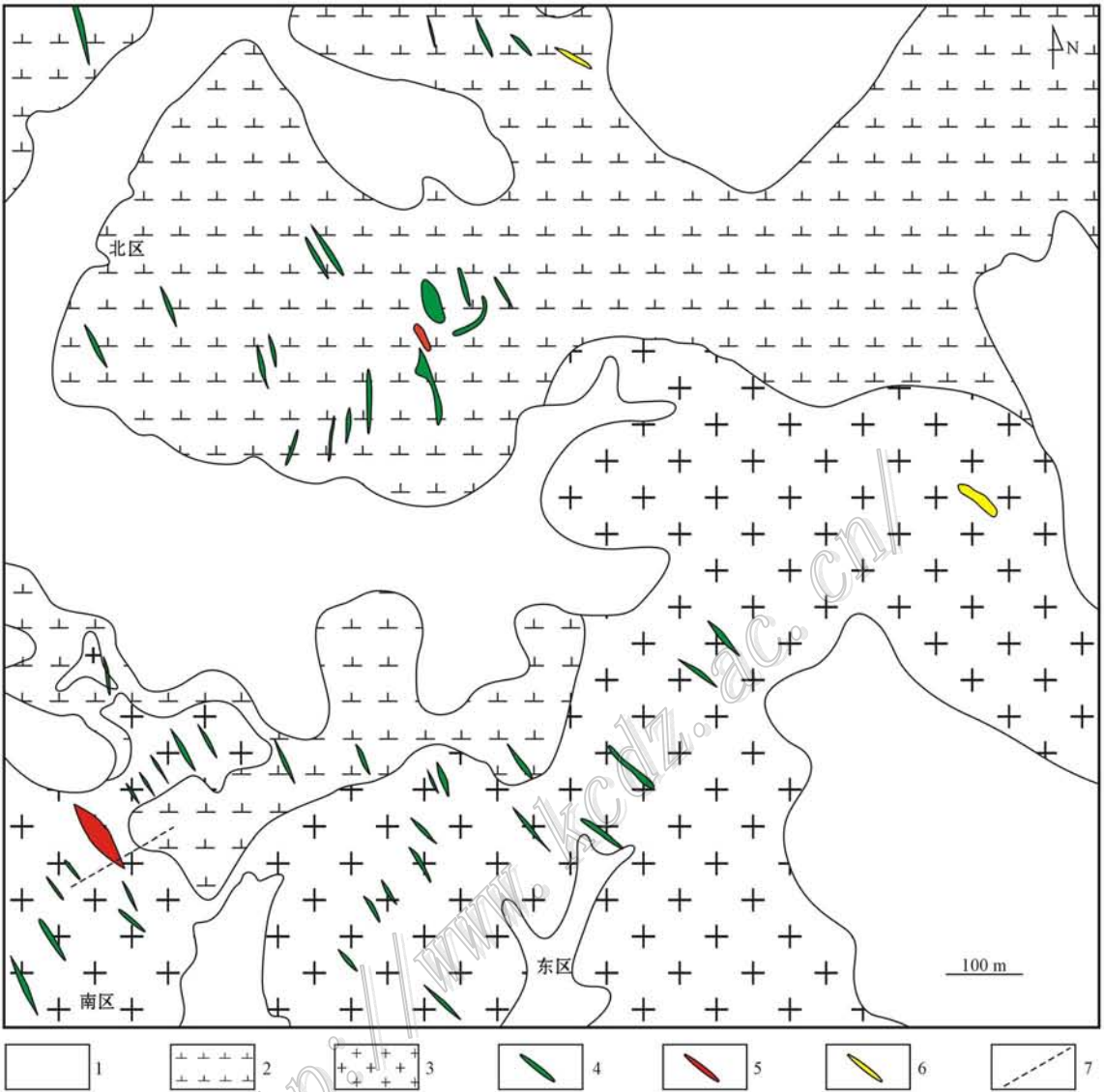


图 2 哈什吐钼矿区地质简图(据辽宁省地质勘察院<sup>①</sup>修改)

1—第四系沉积物；2—中细粒似斑状黑云母花岗岩；3—花岗斑岩；4—闪长岩脉；5—钼矿体；6—石英脉；7—0 号勘探线

Fig. 2 Geological sketch map of the Hashitu Mo deposit (modified after Geological Prospecting Institute of Liaoning Province<sup>①</sup>)

1—Quaternary; 2—Fine-grained porphyroid biotite granite; 3—Granite porphyry; 4—Diorite dike; 5—Molybdenum ore body; 6—Quartz vein;  
7—No. 0 exploration line

花岗岩,后者侵入到前者之内,二者共同构成一个北东向展布的复式花岗岩体(图 2)。矿区范围脉岩分布广泛,主要岩石类型有闪长岩及石英脉。受次级构造裂隙控制,岩脉大多呈北东向、北西向和近南北向展布,并侵位到花岗斑岩和似斑状黑云母花岗岩中。无论是花岗斑岩还是似斑状黑云母花岗岩,它们均是哈什吐矿床的容矿围岩。花岗斑岩主要出现

在矿区西南部,呈北西向延长的椭圆状,出露面积 8 km<sup>2</sup>。据钻孔岩芯资料证实,花岗斑岩可至地下 150 ~ 320 m,再向下为黑云母花岗岩,二者接触面产状多向西倾,倾角为 40 ~ 50°,岩性过渡截然。代表性花岗斑岩样品为浅肉红色,呈块状构造,斑状结构,斑晶成分为钾长石和石英,斑晶粒度多为 2 ~ 3 mm。花岗斑岩的主要矿物组分有钾长石(40%)、石英

① 辽宁省地质勘察院, 2011. 内蒙古自治区林西县哈什吐东梁钼铜多金属矿区 2010 年工作总结报告。

(30%) 黑云母(3%~6%) ,副矿物有榍石和锆石。似斑状黑云母花岗岩主要分布在矿区北部和东部 ,呈岩株状 ,出露面积 19 km<sup>2</sup>。代表性岩石样品呈黄白至灰白色 ,具块状构造 ,似斑状结构 ,斑晶为钾长石和石英 ,粒径多为 5~7 mm。黑云母花岗岩主要矿物有石英(25%) 钾长石(20%) 斜长石(25%) 和黑云母(5%~8%) ,副矿物有榍石、锆石和磁铁矿。花岗斑岩和黑云母花岗岩均遭受强烈蚀变作用的影响 ,自岩体中心向外围 ,依次有硅化、云英岩化、绢云母化、泥化和青磐岩化 ,其中硅化和云英岩化最为发育 ,与钼矿化具有密切的空间分布关系。根据硅化与钼矿化的关系可将硅化蚀变分为 3 期 :第一期 为成矿前的硅化带 ,该蚀变带含矿性差 ,被后期的断裂和蚀变带所切割 ;第二期 为沿成矿期断裂充填交代 ,具有较好的含矿性 ,是矿区主成矿期蚀变 ;第三期 为

成矿后断裂充填交代 ,切割前期的硅化蚀变带 ,对矿体具有一定的破坏作用。

哈什吐钼矿由南矿区、北矿区、东矿区、外Ⅰ矿区和外Ⅱ矿区组成 ,其中的南矿区和北矿区工作程度最高。钼矿化在花岗斑岩和似斑状黑云母花岗岩中呈脉状、浸染状 ,局部围岩破碎的地方则呈厚层状产出(如 1 号矿体) ,并且构成层状、似层状和透镜状矿体。截止 2010 年 ,矿区内已发现 12 条较大规模和数条较小规模的钼矿体 ,单个矿体长度变化范围为 50~530 m ,平均约 80 m ,厚度为 0.5~9 m ,平均为 2 m ,矿体多向北东向倾斜 ,倾角为 50~70°。所确定的 12 条较大钼矿体大致可分为两种产出类型 ,第一类是产于围岩构造破碎带中 ,具厚层状、脉状矿化的矿体 ,这种矿体具有热液充填特征 ,以 1 号矿体(图 3)为代表。1 号矿体以产出规模大、连续性好和

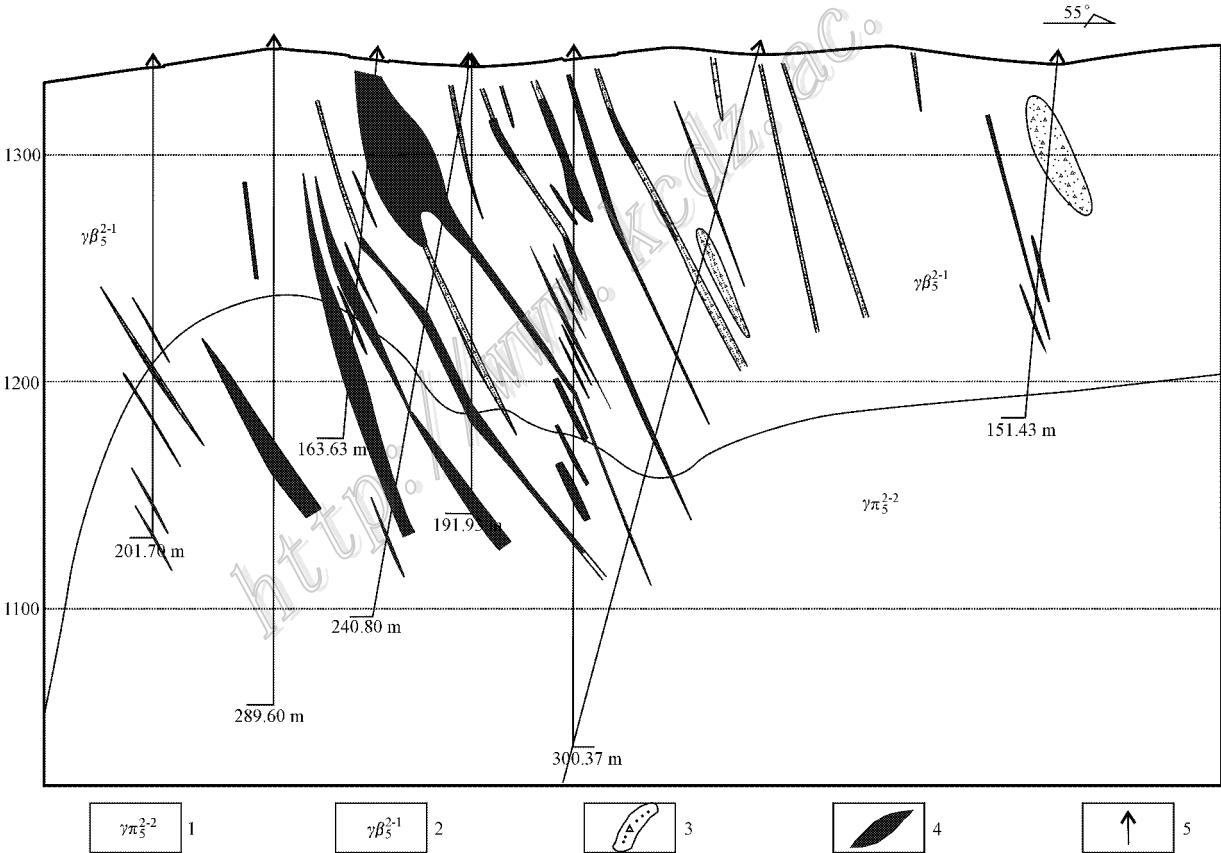


图 3 哈什吐钼矿区 0 号勘探线剖面图(据辽宁省地质勘查院<sup>①</sup>修改)

1—花岗斑岩;2—中细粒似斑状黑云母花岗岩;3—角砾岩;4—钼矿体;5—钻孔

Fig. 3 Geological section along No. 0 exploration line of the Hashitu Mo deposit (modified after Geological Prospecting Institute of Liaoning Province<sup>①</sup>)

1—Granite porphyry;2—Fine-grained porphyroid biotite granite;3—Breccia;4—Molybdenum ore body;5—Drill hole

① 辽宁省地质勘查院. 2011. 内蒙古自治区林西县哈什吐东梁钼铜多金属矿区 2010 年工作总结报告.

品位高为特征,位于喀什吐南矿区 2300 和 2000 勘探线之间的 0 号勘探线上,是喀什吐钼矿床的特富矿体,也是该矿床的主要钼矿体。从整体上看,1 号矿体呈北西-北北西走向,北东向倾斜,倾角为  $75^\circ$ ,矿体呈脉状和层状,局部有膨大现象呈矿囊状,矿石为强烈硅化蚀变和破碎的矿化花岗斑岩和黑云母花岗岩。矿体单层厚度为  $0.85 \sim 6.95$  m,平均厚度为  $2.19$  m,延长约  $38$  m,单样  $w(\text{Mo})$  最高可达  $7.2\%$ ,平均为  $3.18\%$ 。第二类是具浸染状、网脉-细脉状矿化的钼矿体,除 1 号矿体外,其他矿体都属于这种类型,这种矿体具有斑岩型矿床矿化特征,以 13 号矿体为代表。13 号矿体位于矿区北部,产于黑云母花岗岩中,矿体呈北北西走向,北东倾向,倾角  $15 \sim 30^\circ$ 。矿体呈不规则扁豆状,钼矿化主要为浸染状、网脉状,有时沿岩石裂隙面形成薄层状钼矿化。矿体厚度最大为  $8.57$  m,最小为  $0.8$  m,平均为  $3.53$  m,矿体中钼品位  $w(\text{Mo})$  为  $0.08\% \sim 0.36\%$ ,平均为  $0.129\%$ 。

详细的岩(矿)相学和矿物学研究结果表明,喀什吐钼矿床的钼矿石类型为细脉-浸染状、脉状或厚层状硫化物型矿石,未见有钼华和钼铅矿。矿石矿物有辉钼矿、黑钨矿、黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿和毒砂。脉石矿物有石英、钾长石、绢云母、萤石、绿泥石和绿帘石。围岩蚀变主要为强烈的硅化、绢云母化,同时伴随有一定的钾化和绿帘石化。

### 3 样品采集及铼-钨同位素测年方法

#### 3.1 样品采集及描述

本次用于测定铼-钨同位素年龄的样品采自喀什吐钼矿区 1 号平硐内,均为原生硫化物矿石中的辉钼矿。含矿岩石为花岗斑岩,并伴有强烈的硅化。辉钼矿呈脉状和网脉状分布,部分辉钼矿呈厚层状和团块状集合体产出(辉钼矿含量为  $5\% \sim 7\%$ )。辉钼矿呈强金属光泽,不透明,反射光下为灰白色,略带蓝色。辉钼矿样品纯度较高,未见黄铜矿和黄铁矿等铼含量较高的矿物组分混入。

#### 3.2 铼-钨同位素测年技术流程

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(杜安道等 2001, Du et al., 2004):准确称取待分析样品,通过细颈漏斗加入到 Carius 管,缓慢加液氮到有半杯

乙醇的保温杯中,使成粘稠状( $-50^\circ\text{C} \sim -80^\circ\text{C}$ )。用适量超纯浓 HCl 通过细颈漏斗把准确称取的  $^{185}\text{Re}$  和  $^{190}\text{Os}$  混合稀释剂转入 Carius 管底部。再依次加入适量硝酸和  $30\% \text{H}_2\text{O}_2$ ,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。轻轻放套管入鼓风烘箱内,待回到室温后,逐渐升温到  $200^\circ\text{C}$ ,保温  $24$  h。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。蒸馏分离钨的过程如下: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  $20$  mL 水将管中溶液转入蒸馏瓶中。把内装  $5$  mL 超纯水的  $25$  mL 比色管,放在冰水浴中,以备吸收蒸馏出的  $\text{OsO}_4$ 。连接蒸馏装置,加热微沸  $30$  min,所得  $\text{OsO}_4$  水吸收液可直接用于 ICP-MS 测定钨同位素比值。将蒸馏残液转入  $150$  mL Teflon 烧杯中待分离铼。萃取分离铼的过程大致如下(屈文俊等 2003,李超等 2009):将蒸馏残液置于电热板上,加热近干,重复两次以降低酸度。根据样品量加入  $4 \sim 10$  mL 的  $5 \sim 6$  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  $4 \sim 10$  mL 丙酮,振荡  $1$  min 萃取铼。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(屈文俊等 2004),对于铼-钨含量很低的样品采用美国热电公司(Thermo Fisher Scientific)生产的高分辨电感耦合等离子体质谱仪 HR-ICP-MS Element 2 进行测量。对于铼,选择质量数  $185$ 、 $187$ ,用  $190$  监测钨。对于钨,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 分析结果

喀什吐钼矿床 10 件辉钼矿样品的分析结果列于表 1。从表 1 中可以看出,10 件辉钼矿样品中  $w(\text{Re})$  变化于  $(652.5 \sim 2055) \times 10^{-9}$ ,平均为  $1284 \times 10^{-9}$ ;  $w(^{187}\text{Os})$  变化于  $(1.014 \sim 3.183) \times 10^{-9}$ ,平均为  $1.997 \times 10^{-9}$ 。相对放射性  $^{187}\text{Os}$ ,普通 Os 含量为  $(0.0007 \sim 0.0074) \times 10^{-9}$ ,可忽略为 0,可以认为辉钼矿样品中钨几乎全部为放射性成因。根据

表 1 哈什吐钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测试数据

Table 1 Re-Os isotopic data of molybdenite in the Hashitudongliang Mo deposit

编号	m/g	$\alpha(\text{Re}) \times 10^{-9}$		$\alpha(\text{Os}) \times 10^{-9}$		$\alpha(^{187}\text{Re}) \times 10^{-9}$		$\alpha(^{187}\text{Os}) \times 10^{-9}$		模式年龄/Ma
		测定值	2 $\sigma$	测定值	2 $\sigma$ 值	测定值	2 $\sigma$	测定值	2 $\sigma$	
HST-1	0.20232	991.8	8.3	0.0007	0.0023	623.4	5.2	1.532	0.012	147.3 $\pm$ 2.1
HST-2	0.11600	1592	13	0.0012	0.0052	1001	8	2.492	0.022	149.3 $\pm$ 2.2
HST-3	0.20479	964.5	8.8	0.0007	0.0030	606.2	5.5	1.489	0.012	147.3 $\pm$ 2.2
HST-5	0.20042	764.4	6.1	0.0007	0.0023	480.5	3.8	1.183	0.011	147.6 $\pm$ 2.1
HST-6	0.20015	1024	9	0.0007	0.0015	643.6	5.8	1.605	0.014	149.5 $\pm$ 2.3
HST-8	0.20313	2055	15	0.0074	0.0022	1291	10	3.183	0.028	147.8 $\pm$ 2.1
HST-9	0.20011	652.5	5.5	0.0052	0.0023	410.1	3.5	1.014	0.009	148.2 $\pm$ 2.2
HST-10	0.20063	1111	9	0.0044	0.0015	698.2	5.6	1.730	0.014	148.5 $\pm$ 2.1
HST-11	0.20075	1843	19	0.0044	0.0015	1158	12	2.887	0.025	149.4 $\pm$ 2.3
HST-12	0.20180	1845	17	0.0067	0.0023	1160	11	2.857	0.023	147.0 $\pm$ 2.2

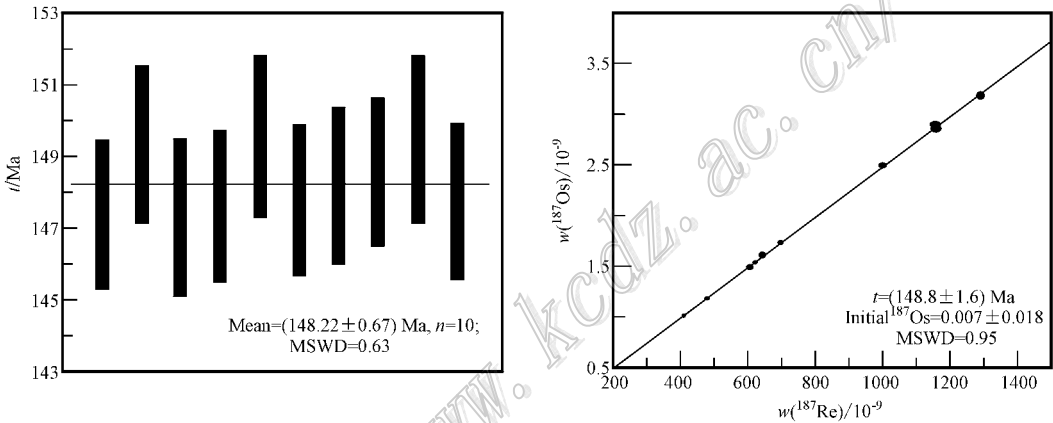


图 4 哈什吐钼矿床辉钼矿 Re-Os 模式年龄及等时线年龄图

Fig. 4 Re-Os model ages and isochron of molybdenite in the Hashitu Mo deposit

$^{187}\text{Re}$ 和 $^{187}\text{Os}$ 的含量绘制等时线年龄见图 4。铼-钨同位素分析测试结果表明,辉钼矿模式年龄变化于(147.0 $\pm$ 2.2)Ma~(149.5 $\pm$ 2.3)Ma,加权平均值为(148.22 $\pm$ 0.67)Ma(2 $\sigma$ )。10件辉钼矿样品数据拟合出一条良好的 $^{187}\text{Re}/^{187}\text{Os}$ 等时线,利用 Isoplot 软件计算该直线对应的等时线年龄为(148.8 $\pm$ 1.6)Ma,MSWD=0.95,初始 $^{187}\text{Os}$ 含量为(0.007 $\pm$ 0.018) $\times 10^{-9}$ 。加权年龄与等时线年龄值非常一致,说明本次测试结果精度可信,具有地质意义。

5 讨论

5.1 哈什吐钼矿床成矿时代

本文得到哈什吐钼矿床辉钼矿模式年龄为(148.22 $\pm$ 0.67)Ma,等时线年龄为(148.8 $\pm$ 1.6)Ma,两个年龄值误差较小且较为吻合。该数据表明

辉钼矿从含矿流体中沉淀和富集的时间发生在晚侏罗世,属燕山期成矿。

毛景文等(2005)提出,中国北方大规模成矿作用出现在200~160Ma,140Ma左右和120Ma左右3个高峰期,从成矿强度上看,140Ma左右是最重要的两期成矿事件之一。陈志广等(2008)认为,140~120Ma是华北克拉通北缘西拉木伦成矿带内三个主要成矿期之一,推测该时期的成矿作用与陆内伸展过程有关。马星华等(2009)也提出,西拉木伦河断裂与大兴安岭主脊断裂交汇处众多金属矿床成矿高峰期处于130~150Ma及220~250Ma两期,其中以130~150Ma这一期成矿事件最为显著。西拉木伦钼矿带内众多钼矿床成矿时代较为集中,多处于上述成矿作用高峰期,如聂凤军等(2007a)对西拉木伦河断裂以南的小东沟钼矿床进行了同位素测年,获得铼-钨等时线年龄为(135.5 $\pm$ 1.5)Ma,核工业

表 2 西拉木伦成矿带代表性钼矿床辉钼矿铼含量

Table 2 Re content of molybdenite separates from the representative Mo deposits occurring in the Silas Wood Aaron metallogenic belt

矿床名称	样品数/个	$\omega(\text{Re})/10^{-9}$			Re-Os 年龄/Ma	成矿物质来源	数据来源
		最大值	最小值	平均值			
哈什吐钼矿床	10	2060	650	1280	(148.8±1.6)	壳源	本文
敖仑花钼矿床	5	38929	5961	20406	(132.0±1.0)	壳幔混源	马星华等 2009
小东沟钼矿床	5	10270	2200	5560	(135.5±1.5)	壳源	聂凤军等 2007a
碾子沟钼矿床	7	36970	12640	23110	(154.3±3.6)	壳幔混源,偏壳源	张作伦等 2009

243 地质队获得红山子钼矿床铷-锶等时线年龄为 142~147 Ma(曾庆栋等,2009),张作伦等(2009)获得碾子沟钼矿床铼-钨等时线年龄为(154.3±3.6) Ma,马星华等(2009)获得西拉木伦河断裂以北的敖仑花钼矿床铼-钨等时线年龄为(132.0±1.0)Ma(表 2)。这些钼矿床同位素年龄表明,华北克拉通北缘西拉木伦钼成矿带大规模钼矿化发生于燕山期,并且与燕辽钼矿带主成矿时代基本一致(黄典豪等,1996;代军治等,2006)。哈什吐钼矿床成矿等时线年龄为(148.8±1.6)Ma,该年龄进一步佐证了中国华北北部燕山期钼成矿作用的普遍性。

5.2 成矿物质来源探讨

铼是一种高度相容元素,而钨是一种中等程度不相容元素,在地幔熔融过程中,铼倾向于富集在地幔残留相中,而钨倾向于富集在熔浆中,导致地幔与地壳中的铼/钨比值发生很大变化,因此,铼-钨同位素体系不仅可以用来进行年代测定,也可以对岩石的成因及地幔演化过程进行示踪(刘桂建等,2006;刘纯等,2009)。Stein 等(2001,2003)指出,辉钼矿的铼含量为探索矿床的成因提供了线索,与地幔交代作用及镁铁质-超镁铁质岩石熔融有关的辉钼矿,通常具有高的铼含量。相比之下,在中间地壳和贫有机质的沉积岩中,辉钼矿的铼含量比较低。Mao 等(1999)对中国各类型钼矿床中辉钼矿的铼含量进行了对比性研究,认为辉钼矿中铼含量可能指示着成矿物质的幔源、壳幔混源和壳源的属性。经统计分析显示,从幔源到壳幔混源再到壳源,矿石中辉钼矿的铼含量呈 10 倍级数下降。从与幔源到与 I 型花岗岩,再到与 S 型花岗岩有关的钼矿床,其  $\omega(\text{Re})$  具有从  $n \times 10^{-4}$  到  $n \times 10^{-5}$ ,再到  $n \times 10^{-6}$  的变化趋势(周珂等,2009)。

哈什吐矿床中辉钼矿  $\omega(\text{Re})$  变化范围为(652.5~2 055)×10<sup>-9</sup>,平均值为 1 284×10<sup>-9</sup>,这不仅低

于世界范围内 19 个斑岩型钼矿床辉钼矿平均  $\omega(\text{Re})$  42×10<sup>-6</sup>(黄典豪等,1996),而且也低于区域内同时期斑岩钼矿床辉钼矿的铼含量(表 2)。Stein 等(2001,2003)、杜安道等(2007)认为,鉴于斑岩钼矿床的钼含量高于斑岩铜钼矿床,有限的铼分配在较多的辉钼矿中,故而单位辉钼矿中铼含量较低。哈什吐矿床以钼为主,钼矿石具有富而集中的特点,有限的铼富集在辉钼矿中,导致单位辉钼矿铼含量偏低。同时,成矿母岩浆的成分、成矿流体中铼的含量及结晶过程中物理、化学条件的变化均对辉钼矿中铼的含量分布产生一定影响(Mao et al.,1999;Berzina,2005;周珂等,2009),因此哈什吐矿床辉钼矿铼含量偏低可能与上述诸多因素都有关。尽管哈什吐矿床的成矿理论研究尚处在初期阶段,缺少流体包裹体和同位素数据,但是,根据已获得的铼-钨同位素年龄数据、岩(矿)相学资料和野外地质证据,可以推测,该矿床的成矿物质可能主要来自于壳源。

6 结 论

(1)首次对内蒙古哈什吐钼矿床中辉钼矿样品进行了铼-钨同位素分析,所获得加权平均模式年龄为(148.22±0.67)Ma,等时线年龄为(148.8±1.6)Ma,MSWD 值为 0.95,表明大规模钼矿化发生时间为晚侏罗世,该矿床属燕山期构造-岩浆作用及相关流体活动的产物。

(2)辉钼矿多在花岗斑岩和似斑状黑云母花岗岩中呈细脉、网脉和团块集合体产出,成岩作用和成矿作用发生的时间相近,具有斑岩型钼矿床的矿化特征。但矿床中存在极富钼矿体,表明矿床局部地区具有热液充填交代的特征。考虑到硅化与钼矿化具有密切的空间分布关系,因此,可以将强烈的硅化蚀变作为寻找隐伏钼矿体的主要找矿标志。

(3) 哈什吐矿床辉钼矿  $\omega(\text{Re})$  为  $(652.5 \sim 2\,055) \times 10^{-9}$ , 平均值为  $1\,284 \times 10^{-9}$ , 通过与区域内其他数个相似类型钼矿床的对比分析, 显示该矿床铼含量偏低, 初步推测认为哈什吐矿床成矿物质多来源于地壳。

志 谢 论文撰写过程中得到中国地质科学院矿产资源研究所江思宏研究员的指导, 在此表示衷心感谢。同时也感谢匿名审稿专家对本文提出的中肯意见。

## 参考文献/References

- 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 良, 张 达, 狄永军, 徐 俊, 王 策, 宛 胜, 来守华. 2009. 大兴安岭中南段区域成矿规律初步研究[J]. 地质找矿论丛, 24(4): 267-272.
- 陈志广, 张连昌, 吴华英, 万 博, 曾庆栋. 2008. 内蒙古西拉木伦成矿带碾子沟钼矿区 A 型花岗岩地球化学和构造背景[J]. 岩石学报, 24(4): 879-889.
- 代军治, 毛景文, 杨富全, 叶会寿, 赵财胜, 谢桂青, 张长青. 2006. 华北地台北缘燕辽钨(铜)成矿带矿床地质特征及动力学背景[J]. 矿床地质, 25(5): 598-612.
- 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-钨同位素地质年龄[J]. 岩矿测试, 20(4): 247-252.
- 杜安道, 屈文俊, 王登红, 李厚民, 丰成友, 刘 华, 任 静, 曾法刚. 2007. 辉钼矿亚晶粒范围内 Re 和  $^{87}\text{Os}$  的失耦现象[J]. 矿床地质, 26(5): 572-580.
- 侯万荣, 聂凤军, 徐 斌, 李 伟, 樊永伟, 赵春荣. 2010. 内蒙古中西部钼多金属矿床地质特征及其动力学背景[J]. 地质与勘探, 46(5): 751-764.
- 黄典豪, 杜安道, 吴澄宇, 刘兰笙, 孙亚莉, 邵晓秋. 1996. 华北地台钼(铜)矿铼钨年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 15(4): 289-297.
- 李 超, 屈文俊, 杜安道. 2009. 铼-钨同位素定年法中丙酮萃取铼的系统研究[J]. 岩矿测试, 28(3): 233-238.
- 刘 纯, 孟祥仑. 2009. 铼-钨同位素测年法研究综述[J]. 矿产与地质, 23(3): 272-277.
- 刘桂建, 彭子成, 杨 刚, Chou Chen-lin. 2006. 煤中黄铁矿的铼-钨同位素含量及其地质意义[J]. 地学前缘, 13(1): 211-215.
- 刘建明, 张 锐, 张庆洲. 2004. 大兴安岭地区的区域成矿特征[J]. 地学前缘, 11(1): 269-277.
- 刘翼飞, 聂凤军, 江思宏, 侯万荣, 梁清玲, 张 可, 刘 勇. 2012. 内蒙古苏尼特左旗准苏吉花钼矿床成岩成矿年代学及其地质意义[J]. 矿床地质, 31(1): 119-128.
- 马星华, 陈 斌, 赖 勇, 鲁颖淮. 2009. 内蒙古敖伦花斑岩钼矿床成岩成矿年代学及地质意义[J]. 岩石学报, 25(11): 2939-2950.
- 毛景文, 谢桂青, 李晓峰, 张作衡, 王义天, 王志良, 赵财胜, 杨富全, 李厚民. 2005. 大陆动力学演化与成矿研究: 历史与现状——兼论华南地区在地质历史演化期间大陆增生与成矿作用[J]. 矿床地质, 24(3): 193-205.
- 聂凤军, 张万益, 杜安道, 江思宏, 刘 妍. 2007a. 内蒙古小东沟斑岩型钼矿床辉钼矿铼-钨同位素年龄及地质意义[J]. 地质学报, 81(7): 898-905.
- 聂凤军, 江思宏, 张 义, 白大明, 胡 朋, 赵元艺, 张万益, 刘 妍. 2007b. 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.
- 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): 254-262.
- 屈文俊, 杜安道. 2004. 电感耦合等离子体质谱测定辉钼矿中 Re-Os 含量时的质量分馏效应的校正[J]. 质谱学报, 25(增刊): 181-182.
- 陶继雄, 王 弢, 陈郑辉, 罗忠泽, 许立权, 郝先义, 崔来旺. 2009. 内蒙古苏尼特左旗乌兰德勒钼铜多金属矿床辉钼矿铼-钨同位素定年及其地质特征[J]. 岩矿测试, 28(3): 249-253.
- 陶继雄, 钟 仁, 赵月明, 郑宝军. 2010. 内蒙古苏尼特左旗乌兰德勒钼(铜)矿床地质特征及找矿标志[J]. 地球学报, 31(3): 413-422.
- 席 忠, 张志刚, 贾立炯, 苟小军, 孙庆茹, 侯万荣. 2010. 内蒙古马尼图一查干花大型钨-铋-钨矿化区的发现及地质意义[J]. 矿床地质, 31(3): 466-468.
- 徐志刚. 1997. 大兴安岭及其邻区构造演化及控矿作用[A]. 见: 赵一鸣, 张德全, 等. 大兴安岭及其邻区铜多金属矿床成矿规律与远景评价[M]. 北京: 地震出版社. 1-318.
- 曾庆栋, 刘建明, 张作伦, 覃 锋, 陈伟军, 张瑞斌, 于昌明, 叶 杰. 2009. 华北克拉通北缘鸡冠山斑岩钼矿床成矿年代及印支期成矿事件[J]. 25(2): 393-398.
- 张 彤, 陈志勇, 许立权, 陈郑辉. 2009. 内蒙古卓资县大苏计钼矿辉钼矿铼-钨同位素定年及其地质意义[J]. 岩矿测试, 28(3): 279-282.
- 张作伦, 曾庆栋, 屈文俊, 刘建明, 孙兴国, 张瑞斌, 陈伟军, 覃 锋. 2009. 内蒙碾子沟钼矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 25(1): 212-218.
- 周 珂, 叶会寿, 毛景文, 屈文俊, 周树峰, 孟 芳, 高亚龙. 2009. 豫西鱼池岭斑岩型钼矿床地质特征及其辉钼矿铼-钨同位素年龄[J]. 矿床地质, 28(2): 170-184.
- Du A D, Wu S Q, Sun D H, 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.
- Berzina A N and Sotnikov V J. 2005. Economou-Eliopoulos M and E-

liopoulos DG. Distribution of rhenium in molybdenite from porphyry Cu-Mo and Mo-Cu deposits of Russia( Siberia ) and Mongolia [ J ]. Ore Geology Review , 26 : 91-113.

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. 40.

Mao J W , Zhang Z C and Zhang Z H. 1999. Re-Os isotopic dating of molybdenites in the Xiaoliugou W ( Mo ) deposit in the northern Qilian mountains and its geological significance[ J ]. Geochimica et Cosmochimica Acta , 163 ( 11/12 ) : 1815-1818.

Stein H , Markey R , Morgan J , et al. 2001. The remarkable Re-Os chronometer in molybdenite : How and why it works[ J ]. Terra Nova , 13 ( 6 ) : 479-486.

Stein H J , Schersten K , Hannah J L and Markey R. 2003. Subgrain-scale decoupling of Re and <sup>187</sup>Os assessment of laser ablation ICP-MS spot dating in molybdenite[ J ]. Geochimica et Cosmochimica Acta , 92 : 827-835.

2011 年度《矿床地质》审稿人员名单

在 2011 年 ,承蒙以下地质学家为《矿床地质》杂志审稿 ,在此 ,我们向这些为本刊付出大量辛勤劳动和心血的专家学者们表示衷心的感谢 ! 并祝各位在新的一年里科研成果丰硕 ! 身体健康 !

( 按姓氏拼音为序 )

蔡明海	陈柏林	陈懋弘	陈衍景	储雪蕾	杜安道	范宏瑞	丰成友	冯佐海	葛文胜
顾雪祥	韩春明	韩效忠	侯可军	侯满堂	胡芳芳	华仁民	黄智龙	江思宏	姜常义
蒋少涌	李厚民	李文博	李晓峰	李延河	凌洪飞	刘成林	陆建军	马东升	马黎春
马生明	毛景文	彭建堂	秦克章	卿 敏	邱华宁	曲晓明	曲懿华	余宏全	史仁灯
苏尚国	孙景贵	孙晓明	唐菊兴	万 丽	王翠芝	王登红	王可勇	王莉娟	王立本
王 强	王晓霞	王义天	王玉往	王正其	吴良士	谢桂青	谢玉玲	邢树文	徐九华
徐庆生	徐文艺	杨富全	杨 刚	杨天南	杨志明	杨竹森	叶 霖	于津海	袁学诚
曾键年	曾文乐	张长青	张德全	张连昌	张西营	张招崇	张作衡	章雨旭	赵元艺
周涛发	朱金初								