

聂凤军¹⁾ 张万益¹⁾ 杜安道²⁾ 江思宏¹⁾ 刘 妍¹⁾

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 为了进一步查明内蒙古东乌珠穆沁旗朝不楞砂卡岩型铁多金属矿床的形成时间,对主要铁多金属矿体4 件辉钼矿样品进行了铼—俄同位素分析,所获同位素等时线年龄为(140.7±1.8)Ma(2σ),其 MSWD 值为1.12。 鉴于辉钼矿呈稀疏浸染状和条带状分布在铁多金属矿石中,并且与磁黄铁矿和黄铜矿呈共生结构关系,可以推测 朝不楞铁多金属矿床的形成时间为早白垩纪,属燕山期构造一岩浆活动的产物。朝不楞砂卡岩型铁多金属矿床形 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 铼-锇同位素年龄,辉钼矿,成矿时代,砂卡岩型铁多金属矿床,朝不楞,内蒙古

Re-Os Isotopic Age Dating of Molybdenite Separates from the Chaobuleng Skarn Iron-Polymetallic Deposit, Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia

NIE Fengjun¹⁾ ZHANG Wanyi¹⁾ DU Andao²⁾ JIANG Sihong¹⁾ LIU Yan¹⁾ 1) Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037; 2) National Research Center of Geoanalysis, Beijing 100037

Abstract Located in the easternmost part of the Chaganobo-Aoyoute-Chaobuleng Early Paleozoic tectono-magmatic belt on the southern edge of the Siberian plate, the Chaobuleng deposit is a medium-size skarn iron-polymetallic deposit occurring in central-eastern Inner Mongolia. Systematic drilling results show that the deposit contains metal reserves of Fe 1.9 Mt, Bi 17 x 10⁴ t, Ag 222 t, Sn 0.61 x 10⁴ t, Cu 3.06 x 10⁴ t, Au 1.68 t, Pb 9518 t and W 3979 t. The unique geology of the deposit has attracted the attention of ore geologists from China and abroad. During the Mesozoic Yanshanian orogeny, intensive tectonic and igneous activities resulted in the large-scale granitoid plutonism and relevant contact metasomatism in Chaobuleng and its neighboring areas. The Chaobuleng gabbro and granitoid stocks were emplaced in the Middle Devonian sedimentary sequence of the Taerbagete Group, controlled by the NE-trending fault zone. A large number of skarn blocks are located along the contact zone between these two intrusive stocks and their carbonate wall rocks. Although the gabbro and granite stocks show obvious differences in textures and mineral assemblages, both of them belong to alkaline-rich calcalkaline igneous series. Iron-polymetallic mineralization occurs exclusively along the contact zone between the Mesozoic intrusive stocks and the Middle Devonian sedimentary sequences in the forms of pillars, cylinders, stratoid lenses and layers. The main metallic minerals of the iron-polymetallic ore from Chaobuleng are magnetite, pyrite, chalcopyrite, molybdenite, sphalerite, pyrrhotite, scheelite, galena, arsenopyrite, marcasite, bornite, bismutinite, galenobismutite. and native bismuth. The gangue mineral assemblage consists mainly of diopside, amphibole, grossular, andradite, almandine, vesuvianite, tremolite, actinolite, plagioclase, epidote, quartz, biotite, sericite, chlorite and calcite. Re-Os isotopic age dating of four molybdenite separates from the No. I mineralized zone gives an isochron age of (140.7 ± 1.8) Ma, and the model ages range from 139.0 to 140.9 Ma with an average value of 139.5 Ma. As the Re-Os isochron age is in agreement with

责任编辑:刘志强;收稿日期:2007-03-16;改回日期:2007-04-20。

本文由国家自然科学基金项目(编号:40573025)资助。

第一作者简介:聂凤军,男,1956年生,研究员,博士生导师,主要从事金属矿床地球化学研究;通讯地址:100037,北京市西城区百万庄大街 26号;电话:010-68999042;E-mail: nfjj@mx.cei.gov.cn。

the field geological evidence, and the molybdenite has co-existing relations with chalcopyrite, pyrrhotite and pyrite, the authors hold that the Re-Os isochron age represents the major ore-forming time of the skarn iron-polymetallic mineralization occurring in the Chaobuleng deposit and its neighboring areas. 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 mantleand crustal-derived magma and related fluids. It is also considered that the Early Cretaceous intra-plate granitoid plutonism and the relevant iron-polymetallic mineralization were well developed in the Chaobuleng mineralized district and its neighboring areas after the Late Jurassic amalgamation of the North China massif and the Siberia plate. Therefore, the Chaobuleng mineralized district and its neighboring areas have a great potential for Mesozoic Yanshanian skarn iron-polymetallic deposits.

Key words Re-Os isotopic age, molybdenite, ore-forming age, skarn type iron-polymetallic deposit, Chaobuleng, Inner Mongolia

朝不楞砂卡岩型铁多金属矿床位于内蒙古东乌 珠穆沁旗(以下简称东乌旗)满都胡宝拉格苏木境 内,北距中蒙边境 19 km,东距白(城市)一阿(尔 山)线五叉沟火车站 120 km,东南距霍林郭勒市 180 km,西南距东乌旗政府所在地一乌里雅斯太镇 180 km,地理坐标为东经 118°30′00″~118°44′20″,北纬 46°27′30″~46°36′30″(图1)(中国矿床发现史内蒙 古卷编委会,1996; 聂凤军等,2006[●])。

早在20世纪70年代中期(1976年前后).原内 蒙古自治区地质局区域地质测量队在本区开展1: 20 万区域地质填图时,于朝不楞附近发现锰和铁矿 化露头,并且对其进行了追踪检查。1977年至1978 年,原内蒙古自治区地质局所属物探一队、一〇五地 质队和一〇九地质队在朝不楞地区开展了声势浩大 的铁矿床找矿勘查大会战,并且完成了中大比例尺 矿区地质填图、地球物理和地球化学测量。1977年 至1982年,原内蒙古一〇九地质队对朝不楞矿床进 行了普查和详查工作。通过系统的钻(坑)探和详 细的综合性研究工作,证实了朝不楞为一处以铁为 主,兼含锌、铜、铋、铅、钨、锡、金、银、镓、铟、镉、硫和 砷的多元素矿床,其中铁储量为1889万t,铋为 1.72 万 t, 银为 222 t, 锡为 0.61 万 t, 铟为 238 t, 镉 562 t, 铜为 3.06 万 t, 金为 1.68 t, 铅为 9518 t, 钨为 3979 t 和镓为 387 t(中国矿床发现史内蒙古卷编委 会,1996;锡林郭勒盟土地矿产资源管理局, 1999[●])。在所有上述矿种中,铁、铋、银、锡、铟和镉 的储量均已达到中型规模,其余为小型矿床。无论 从金属矿种的数量上看,还是从资源量上讲,朝不楞 矿床都是一处集黑色、有色和贵重金属元素为一体 的多金属"宝库",其找矿勘查和成矿理论研究历来 为国内矿床地质工作者所关注。

在前人工作基础上,我们对朝不楞砂卡岩型铁 多金属矿床开展了较系统的地质、地球化学和同位 素年代学研究,对其成矿环境、形成时代、成矿物质 来源和形成机理进行了探讨,目的旨在建立该矿床 的综合性成矿模式,为指导隐伏钼矿床找矿勘查提 供科学依据。

1 成矿地质环境

从大地构造位置上看,朝不楞铁多金属矿床位 于西伯利亚板块东南缘的查干敖包一奥尤特一朝不 楞早古生代构造一岩浆岩带东北端,属东乌珠穆沁 旗复背斜东段北缘(内蒙古自治区地质矿产局, 1991;李述靖等,1998;聂凤军等,2006[•])。区内出 露的地层主要有中泥盆统塔尔巴格特组沉积岩、中 下侏罗统阿拉坦合力群沉积岩、上侏罗统查干诺尔 组和布拉根哈达组火山岩以及第三系和第四系沉积 物。中泥盆统塔尔巴格特组沉积岩不仅是朝不楞矿 区及外围分布范围最广和沉积厚度最大的地层单 元,同时也是最重要的赋矿围岩。主要岩石类型有 碳酸盐、大理岩、砂质板岩、变质粉砂岩、绢云母板 岩、砂岩和变质砂砾岩,整套岩层厚度为2500m。

[●] 聂凤军,江思宏,白大明,等.2006. 中蒙边境中东段我国一侧(北山和二连一东乌旗地区)铜金银矿床成矿规律与找矿方向(编号: 1212010561603-1). 中国地质科学院矿产资源研究所内部资料,1~789.

锡林郭勒盟土地矿产资源管理局.1999. 锡林郭勒盟地质矿产概论及矿产资源勘查开发规划. 锡林郭勒盟土地矿产资源管理局内部资 料,1~153.





Fig. 1 Simplified regional geological map of the Chaobuleng iron-polymetallic deposit, Dong Ujimqin Banner, central-eastern Inner Mongolia (insert modified from Wang et al., 2001)

I-古生代兴蒙造山带;Ⅱ-西伯利亚板块.1-砂卡岩;2-角岩;3-大理岩;4-前寒武纪变质岩地块;5-花岗岩类侵入岩;6-铁多金属矿体;7-断裂带;8-古板块缝合带;9-实测断层;10-推测断层;11-地质界线;12-推测地质界线;13-地层产状;14-国界;15-金属矿床及编号;16-城镇。金属矿床:(1)-朝不楞铁一锌一铋多金属矿床;(2)-沙麦钨矿床;(3)-奥尤特铜矿床;(4)-小坝梁铜一金矿床;(5)-巴尔哲铌一纪一倍矿床; (6)-孟恩陶勒盖银一铅一锌矿床;(7)-布敦化铜矿床;(8)-浩布高铅一锌一铜一锡矿床;(9)-白音诺尔铅一锌(铜)矿床;(10)-白音查干银 多金属矿床;(11)-拜仁达坝银矿床;(12)-毛登锡一铜矿床

I -Paleozoic Hinggan-Mongolian tectono-magmatic belt; II - Siberian plate. 1-Skarn; 2-Hornfel; 3-Marble; 4-Precambrian metamorphic block; 5-Granitoid intrusion; 6-iron polymetallic ore bodies; 7-fault zone; 8-ancient plate suture zone; 9-measured fault; 10-inferred fault; 11-measured geological boundary; 12-inferred geological boundary; 13-strata occurrence; 14-state boundary; 15-ore deposits and their number; 16-town or city. major ore deposits: (1)-Chaobuleng Fe-Bi-Zn polymetallic deposits; (2)-Shamai W deposit; (3)-Aoyoute Cu deposit; (4)-Xiaobaliang Cu-Au deposit; (5)-Baerzhe Nb-Y- Zr deposit; (6)-Mengentaolegai Ag-Pb-Zn deposit; (7)-Budunhua Cu deposit; (8)-Haobugao Pb-Zn-Cu-Sn deposit; (9)-Baiyinnuo Pb-Zn(Cu) deposit; (10)-Baiyinchagan Ag-polymetallic deposit; (11)-Bairendaba Ag deposit; (12)-Maodeng Sn-Cu deposit 中、下侏罗统阿拉合力群沉积岩地层主要分布在矿 区的西南部,主要由粉砂岩、砂岩、砂砾岩和板岩构 成,整套岩层厚度为500 m;上侏罗统查干诺尔组和 布拉根哈达组火山岩主要分布在矿区的东北部和东 南部,主要岩石类型有流纹岩、流纹质角砾凝灰岩、 晶屑岩屑凝灰岩、流纹斑岩和石英斑岩以及少量安 山岩和玄武岩。整套岩层厚度为1500 m。第三系 和第四系沉积物主要是粘土、砾石、残坡积物和风成 砂^{€●}。

朝不楞矿区及外围海西期镁铁质和长英质侵入 岩分布广泛,十分发育,约占全区岩层(体)出露面 积的48%,其中辉长岩和黑云母花岗岩与铁多金属 矿体具密切的时空分布关系。辉长岩呈岩瘤状(或 岩枝状)侵位中泥盆统塔尔巴格特组长石砂岩地层 中,并且为黑云母花岗岩所包裹,岩体长和宽大体相 似,均为数百米,出露面积为0.3 km[●]。与前述辉长 岩瘤相似,黑云母花岗岩呈岩株状侵位于中泥盆统 塔尔巴格特组碳酸盐和粉砂岩地层中,局部地段形 成宽窄不等的含矿矽卡岩带,岩体长19 km,宽3~ 10 km,出露面积为90 km²。无论是辉长岩瘤,还是 黑云母花岗岩株,它们均以岩石类型单一,岩相分带 不明显和形成时间相近以及富含磁铁矿、锆石和磷 灰石为特点[●]。

从构造形迹上看,朝不楞矿区及外围除了存在 有3个倒转背斜和2个倒转向斜外,还分布有一系 列北东向和北西向断裂破碎带。另外,在矿区西南 端中、下侏罗统沉积岩地层中还分布有向北西突出 的弧形向斜。在所有褶皱和断裂构造形迹中,倒转 背斜和北东向逆断层与铁多金属矿体具密切空间分 布关系。朝不楞倒转背斜的轴向为50°~60°,向南 陡倾,出露长度为10 km。倒转背斜的核部为黑云 花岗岩株所占据,两翼均由中泥盆统塔尔巴格特组 沉积岩、矽卡岩和铁多金属矿体构成。北东向断裂 带位于矿区南部,岩体与地层接触附近,主要由一系 列挤压性和张扭性断层所构成,长度为10 km,宽度 为几十米到数百米。断裂破碎带内见有碎裂石英 脉、千糜岩化和硅化粉砂岩和断层角砾岩,局部地段 见有含矿砂卡岩块体。综合性对比研究结果表明, 朝不楞矿区及外围的北东向断层破碎带大多为容矿 和导矿构造,属成矿期前或同成矿期构造,而北西向 张扭性断层对铁多金属矿体产生有明显破坏作用, 属成矿期后构造[●]。

2 铁多金属矿体地质特征

朝不楞铁多金属矿区主要由南矿带、北矿带和 西矿带所构成,整个矿化区为一北东方向延伸的长 条状,长21 km,宽2~7 km,分布面积 121 km²。从 矿化空间分布特点看,南矿带和北矿分别位于朝不 楞黑云母花岗岩株东北端突出部分的南北两侧,整 个矿带长10 km,宽1~3 km,分布面积为20 km²(中 国矿床发现史内蒙古卷编委会,1996;锡林郭勒盟 十地矿产资源管理局,1999●)。系统的找矿勘查工 作和详细的综合性研究结果表明,南矿带主要由 [和Ⅱ矿段组成,而北矿带主要包括Ⅲ和Ⅳ矿段。在 所有上述4个矿段中, 【矿段以矿体数量最多和产 出规模最大为特征,Ⅲ矿段次之,Ⅳ矿段排序为第 三,Ⅱ矿段所含矿体数量最少和产出规模最小。与 前述南矿带和北矿带相比,西矿带地处朝不楞黑云 母花岗岩株的西侧,主要由若干透镜状矿体和 C,__ 磁异常所构成。大多数情况下,铁多金属矿化沿朝 不楞黑云母花岗岩株与中泥盆统塔尔巴格特组沉积 岩接触带呈扁豆状、团块状、条带状和豆荚状分布, 局部地段铁多金属矿化亦可沿沉积岩层间破碎带或 变质粉砂岩与大理岩接触带呈层状和似层状产出。 砂卡岩、角岩和大理岩就是各类金属矿体的直接容 矿围岩。需要指出的是,受岩体与地层接触带或沉 积岩层间破碎带产状制约,在平面图上,大多数铁多 金属矿体为雁行状排列的矿体群或带。在剖面图 上,矿体主要表现为多个筒柱状或斜列的扁豆体群。 就单个矿体来讲,它们多呈北东走向,向南东倾斜, 倾角变化范围为 50°~80°, 与整个矿带和岩体一地 层接触带产状大体一致。对于南矿带和北矿带各矿

[●] 聂凤军,江思宏,白大明,等.2006. 中蒙边境中东段我国一侧(北山和二连一东乌旗地区)铜金银矿床成矿规律与找矿方向(编号: 1212010561603-1). 中国地质科学院矿产资源研究所内部资料,1~789.

[●] 锡林郭勒盟土地矿产资源管理局. 1999. 锡林郭勒盟地质矿产概论及矿产资源勘查开发规划. 锡林郭勒盟土地矿产资源管理局内部资料,1~153.

生成 成 明	移 -	卡 岩	化期	zź	英岩	化 期	表生期
THE WAY	1	11	111	ŧV	V	VI	
磁铁矿							
闪锌矿							
赏铁矿							
磁员铁矿							
辉钼矿							
黄铜矿							
自然铋		_			-		
辉铋矿							
辉铋铅矿							
方铅矿					-		
磷砂					-		
1.1铁矿							
镜铁矿			-				
石榴石							
透辉石							
符山石		-					
斜长石							
角闪石							
绿帘石				~		-	
石英		-		-	-		
黑云母							
绿泥石							
阳起石			-				
透闪石		-					
方解石							
斑铜矿							-
辉铜矿							
赤铁矿							<u> </u>
钢兰							
孔雀石							

图 2 内蒙古东乌珠穆沁旗朝不楞砂卡岩型 铁多金属矿床矿石矿物形成顺序

Fig. 2 Formation sequence of various minerals from metallic ores in the Chaobuleng iron-polymetallic deposit, Dong Ujmgin Banner, central-eastern Inner Mongolia

段大多数矿体而言,其长度变化范围为数十到百余 米,个别矿体为300~400 m;厚度为数十厘米到18 m,最厚处可达34 m;倾斜延深为数米到几百米。与 南矿带和北矿带各矿体相比,西矿带内单个矿体的 长度可达千余米,厚度为2~4 m,倾斜延深为几十 米到200 m。

根据各类铁多金属矿石的空间分布关系,结构 构造和矿物组合特征,朝不楞矿床的形成过程可以 划分为砂卡岩化期、云英岩化期和氧化期以及若干 成矿阶段(图2)。砂卡岩化期可进一步划分为3个 阶段,它们分别是①早期透辉石-透闪石-石榴石 阶段:以形成大量石榴石(钙铝榴石、铁铝榴石和钙 铁榴石)、透辉石和透闪石为特征,伴生矿物有斜长 石、石英和碳酸盐类矿物,此阶段仅形成有少量磁铁 矿:②中期透辉石-石榴石-磁铁矿阶段:以形成大 量透辉石、石榴石和磁铁矿为特征,伴生矿物有辉钼 矿、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、斜长石、符山 石、绿泥石和碳酸盐类矿物,此阶段的热液活动可导 致大量单一铁矿石的形成:③晚期绿帘石一阳起 石一硫化物一磁铁矿阶段:以形成大量阳起石、绿帘 石、硫化物和磁铁矿为特征,其中硫化物主要包括辉 钼矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、辉铋矿和 辉铋铅矿以及自然铋(图2)。从这一阶段开始,硫 化物的产出量开始逐步增高,而磁铁矿的产出量开 始逐步减少,与此同时,成矿作用也将从矽卡岩化成 矿期转变为云英岩化成矿期。与前述矽卡岩化成矿 期相似,云英岩化成矿期同样可以被划分为3个成 矿阶段,它们分别是:①角闪石一黑云母(绢云 母)一硫化物阶段:以形成大量黑云母、角闪石、绢 云母和硫化物为特征,其中硫化物主要包括磁黄铁 矿、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、白铁矿、毒砂、辉铋矿、 辉铋铅矿和方铅矿,其它矿物有磁铁矿、镜铁矿、自 然铋、斜长石、绿帘石和石英,为重要的硫化物形成 阶段:② 绢云母(黑云母)一石英一硫化物阶段:以 形成大量绢云母、石英、黑云母和硫化物为特征,其 中硫化物包括磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方 铅矿、毒砂和白铁矿,其它矿物有镜铁矿、角闪石、绿 帘石、黑云母和方解石;③石英一碳酸盐一硫化物 阶段:代表性矿物有磁黄铁矿、黄铁矿、毒砂、白铁 矿、绿帘石、石英、绿泥石和方解石(图2)。在表生 期,原生铁多金属矿石在地表处遭受到氧化淋滤作 用,原生氧化物和硫化物发生分解,并且形成赤铁 矿、褐铁矿、斑铜矿、辉铜矿、铜兰和孔雀石(图2)。

详细的岩(矿)相学和矿物学研究结果表明,辉 钼矿为朝不楞矿区铁多金属矿石中分布较广和含量 较高的金属矿物之一,同时也是钼和硫的重要载体 之一。辉钼矿大多呈鳞片状集合体或团块状不均匀 地散布在铁多金属矿石中,并且与磁黄铁矿和黄铜 矿呈共生结构关系。单一叶片的大小一般为2 mm ×3 mm ~5 mm、5 mm,最大者可达 0.8 cm ×1.2 cm。在反光镜下,辉钼矿多呈灰白色,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 587 mm, R^{(e} = 3143%, R^{(w} = 35.76%。辉钼矿的产出方式主要有 3 种:其一、呈稠密浸染状或稀硫浸染状在铁多金属矿石中出现; 其二、呈单一叶片或叶片状集合体沿云母或石英粒 间空隙或微裂隙(解理)展布;其三、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-锇同位素组成

3.1 样品的采集与处理

用于铼 - 锇同位素年龄测定的4件辉钼矿样品 均采自 I 矿段的中心地带的不同部位。这里不仅是 铁多金属矿体的最厚处,同时,也是钼含量相对较高 和变化范围相对较小的地段。辉钼矿多呈鳞片状集 合体镶嵌在铁多金属矿石中,局部地段与磁黄铁矿 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%。

3.2 分析方法

辉钼矿样品的铼-锇同位素分析是国家地质实 验测试中心铼-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(杜安 道等,1994,2001;Du et al.,2004);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 Rc 和¹⁹⁰ Os 混合稀释剂加入到 Carius 管底部,再加入4 ml 为10 mol/1 的 HC1,4 ml 为 16 mol/1 的 HNO3。当管底的 溶液冰冻后,用丙烷氧气火陷加热封好 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 的水将管中溶液转入蒸馏瓶中。蒸馏分离 Os 的讨 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_4 ,用于 ICP-MS(等离子体 质谱仪)测定锇同位素比值。将蒸馏残液倒入150 ml 烧杯中等待分离铼。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 ml为5 mol/1的 NaOH,稍微加热,转为碱性介质。





Dong Ujmqin Banner, central-eastern Inner Mongolia

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 为5 mol/ 1 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锇。用数毫升稀 HNO, 溶解残渣,稀释到硝酸浓度为2%,于 ICP-MS 测定 铼同位素比值。如含铼溶液中盐量超过1 mg/m1, 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 监测锇。对于锇的测定,选择质量 数为 186、187、188、189、190、192,用 185 监测铼。最 后,所获铼—锇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 λ (¹⁸⁷ Re) = 1.66 × 10⁻¹¹ a⁻¹。

4 结果与讨论

4.1 钼矿体的成矿时代

朝不楞铁多金属矿床 I 矿段4件辉钼矿样品铼 - 锇同位素分析数据及其特征值列于表 1。在 ¹⁸⁷Os 对¹⁸⁷Re图(图3)中,所有4件辉钼矿样品分析

321

表 1 内蒙古朝不楞铁多金属矿床辉钼矿铼 - 锇 同位素测定结果

 Table 1
 Re-Os isotopic analyses of molybdenite separates

 from the Chaobuleng iron polymetallic deposit, Dong

Ujimqin Banner (County), Inner Mongolia

世纪纪日	样品重量	$\operatorname{Re} \pm 2\sigma$	187 Os ± 2 σ	模式年龄	
竹十四 3冊 5	/g_	∕µg. g ⁻¹	/μg. g ⁻¹	/Ma	
CBL6-1	0.01778	3781 ± 34	5.512 ± 0.041	139.0±2.0	
CBL6-2	0.01330	8520 ± 88	12.580 ± 0.10	140.9 ±2.1	
CBL6-3	0.01028	9272 ±77	13.53 ±0.10	139.2±1.9	
CBL6-4	0.01917	14024 ±139	20.65 ±0.15	140.5 ± 2.0	

测试单位:国家地质实验测试中心铼-锇同位素年代学实验室。

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(140.7±1.8) Ma, MSWD 值为 1.12.¹⁸⁷ Os 初始值为 0.07 ± 0.12。— 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? 所测样品是否具有同样物质来源?同位素体系是否 处于封闭状态? 在本次研究过程中,用于铼-锁同 位素年代学研究的辉钼矿样品基本上可以满足上述 条件。此外,从朝不楞铁多金属矿床 [矿段所采到 的辉钼矿样品具有以下几个特点:①所有4件辉钼 矿样品均采自1矿段中心地段;②辉钼矿呈稠密或 稀疏浸染状产出,并且与磁黄铁矿和黄铜矿呈共生 龄值变化范围较小(139.0~140.9 Ma,平均值为 139.5 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-锇同位素等时线年龄 值(135.5~1.5)Ma,与前人所获同位素年龄(130~ 110 Ma,黑云母钾 - 氩法)(聂凤军等,2006[●])存在 较明显的差别。

基于区域性金属矿床(点)成矿时代对比研究 结果,同时考虑到朝不楞铁多金属矿床的具体地质 情况,故将(140.7±1.8) Ma 看作为辉钼矿从含矿 流体中沉淀与富集的时间。考虑到辉钼矿与磁黄铁 矿、黄铜矿和黄铁矿的空间分布关系,我们有理由推 测,上述四种金属矿物的形成时间大体相同。无论 是钼矿化体,还是铁多金属矿体,它们的形成时间均 为白垩纪早期,属燕山中期花岗质岩浆及相关热液 流体与容矿围岩相互作用的产物。

4.2 铁多金属矿床成矿作用

系统的野外地质调查和详细的室内综合性研究 结果表明,古生代时期,受西伯利亚板块和南侧古蒙 古洋壳俯冲以及稍晚时候与华北陆台碰撞对接作用 的影响,朝不楞矿区及外围古生界火山一沉积岩地 层普遍发生变形变质作用,局部地段岩层变质级序 为绿片岩相●。古生代末期,随着古亚洲洋的消失, 华北陆台与西伯利亚板块"焊接"为一个整体,在此 之后,全区进入到一个全新的地壳演化阶段(王荃 等,1991;李述靖等,1998;邵济安等,1999)。自白垩 纪早期开始,受库拉板块与欧亚大陆多期次俯冲消 减作用影响,一系列北东向和北北东向深大断裂叠 加在东西向构造线之上,进而形成一系列大小不等 的菱形断陷盆地。与此同时,深源岩浆上涌致使地 壳内热流值骤然升高,进而导致部分早古生代火 山一沉积地层发生深熔或重熔作用。由此所产生的 混源岩浆通过上侵定位和结晶分异作用,不仅可以 形成大面积分布的黑云母花岗岩体(如朝不楞黑云 母花岗岩株),而且还可为铁多金属矿床的形成提 供物质、热力和动力来源(赵一鸣等,1994;王建平, 2003;金岩等,2005)。另外,受岩浆热流体对容矿围 岩的变质交代作用影响,在岩体内外接触带形成矽 卡岩和角岩带的同时,还可形成一系列形态各异和 规模不等的铁多金属矿体。

朝不楞矿区铁多金属矿体和黑云母花岗岩株岩 (矿)相学和地球化学研究结果表明,当深熔花岗岩 熔浆沿有利构造部位上侵时,岩浆体系自身的结晶 分异作用可促使大量挥发性组分 CO₂、F、Cl、H₂O、 SiO,、K,O、Cu、Pb、Zn、W、Sn、Mo、Bi 和 Au 等元素在 岩浆房顶部或旁侧发生富集作用,进而形成含矿岩 浆热液流体。在构造薄弱地带,含铁多金属岩浆热 液流体可沿特定构造部位运移,并且与容矿围岩发 生强烈的水一岩交换反应。热液流体对容矿围岩的 变质交代作用不仅导致成矿体系物理化学条件发生 根本性变化,而且造成热液流体中成矿组分的大量 增加。另外,受上述作用影响,热液交代作用在岩体 内外接触带形成矽卡岩和角岩带,同时,也形成有一 系列形态各异、规模不等和元素组合不同的铁多金 属矿体。需要指出的是,含矿热液流体可沿围岩中 的断层或裂隙带侵位到距岩体接触带较远的部位,

[●] 聂凤军,江思宏,白大明,等. 2006. 中蒙边境中东段我国一侧(北山和二连一东乌旗地区)铜金银矿床成矿规律与找矿方向(编号: 1212010561603-1). 中国地质科学院矿产资源研究所内部资料,1~789.

并且在那里沉淀形成以硫和铁为主的多金属矿石。

如前所述,朝不楞矿床的形成过程大体可划分 为3个成矿期,即矽卡岩化期、云英岩化期和表生氧 化期.其中前2个成矿(岩)期分别为最重要的磁铁 矿成矿期和多金属硫化物成矿期。在砂卡岩化期, 受黑云母花岗岩株侵位作用的影响,热力烘烤效应 致使容矿围岩发生不同程度重结晶作用,并且在岩 株外接触带形成大理岩和角岩。相比之下,受花岗 质岩浆对碳酸盐地层的变质交代作用影响,在岩株 的内接触带形成透辉石--透闪石--石榴石砂卡岩 (第1阶段)。当花岗质岩浆基本固结成岩之后,高 温热液流体(340~480℃)继续对碳酸盐地层进行 热液交代作用,并且形成透辉石-石榴石-磁铁矿 (第Ⅱ阶段)和绿帘石—阳起石—硫化物—磁铁矿 矿石(第Ⅲ阶段)。第Ⅲ阶段硫化物(主要是辉钼矿 和辉铋矿)的出现标志着矽卡岩化期的结束和云英 岩化期的开始。随着成矿(岩)体系温度的持续降 低(从480℃到340℃),砂卡岩化期逐渐为云英岩 化期所取代(有人将其称为高中温热液阶段,成矿 温度为250~340℃)。尽管在此成矿期的早期阶段 仍有磁铁矿的出现,但是矿石的中的矿石和脉石矿 物大都为硫化物、石英、云母类和角闪石所取代。随 着成矿流体中硫含量的增高,辉钼矿、辉铋矿、磁黄 铁矿、黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿和白铁矿先后 结晶沉淀,并且在局部地段构成具有工业价值的 "矿物堆积体"。在云英岩化成矿期的早期阶段,铜 多金属元素与各种不同类型的阴离子团结合形成比 较稳定的络合物,并且通过岩层(体)粒间孔隙或原 生冷凝细微裂隙进行扩散与运移,进而在构造有利 部位沉淀形成角闪石--黑云母(绢云母)--硫化 物一石英(第Ⅳ阶段)和绢云母一石英一硫化物(第 V阶段)铁多金属矿石。鉴于在上述2个成矿阶段 没有明显大气降水混入,因此,铁多金属矿石硫化物 硫同位素比值与岩浆热液同类比值相似。随着成矿 作用时间推移和成矿体系的进一步开放,大气降水 将会不断参与到成矿热液体系中来,并且与以岩浆 水为主的成矿流体进行混合,进而形成混合热液流 体。热液成矿期的晚期阶段,低盐度(小于6% NaCl)和低温(小于 220℃)的含矿热液流体沿特定 构造破碎带上升到近地表外,成矿体系温度和压力 的骤然降低,特别是氧逸度的明显增高和 pH 值的 大幅度降低均可造成成矿热液体系物理——化学条件 的不平衡,进而在早期砂卡岩、花岗岩类岩体和变质 沉积岩地层中形成石英一碳酸盐--硫化物(第Ⅵ阶 段)"堆积体",上述矿物组合的出现标志着内生成 矿作用的结束。

朝不楞矿床形成之后,铁多金属矿石长期裸露 地表,遭受风化、剥蚀和淋滤,最终在原生矿体顶部 形成铁帽,为找矿勘查提供了良好标志。

5 结论

(1)首次对内蒙古中东部朝不楞铁多金属矿床 中辉钼矿样品进行了铼 - 锇同位素分析,所获等时 线年龄为(140.7 ± 1.8) Ma(2σ),其 MSWD 值为 1.12,¹⁸⁷ Os 初始比值为 0.07 ± 0.12,钼矿化体的形 成时间为早白垩纪,属燕山期构造一岩浆活动的产 物;

(2)鉴于辉钼矿大多呈浸染状分布于铁多金属 矿石中,并且与磁黄铁矿、黄铜矿和黄铁矿呈共生结 构关系,因此,朝不楞砂卡岩型铁多金属矿床的形成 作用同样与燕山期构造一岩浆活动有关;

(3)朝不楞矿床及邻区地处西伯利亚板块南缘 古生代东西向断裂带与大兴安岭中生代北东向构造 一岩浆岩带交汇部位,各岩(体)层中铁、锌、铜、铋、 铅、钨、锡、钼、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)根据朝不楞砂卡岩型铁多金属矿床辉钼矿 铼一锇同位素等时线年龄,并且结合矿区外围各类 侵入岩和金属矿床已有的同位素年代学数据,可以 认为,早白垩世大规模岩浆活动为铁多金属矿床的 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 内蒙古兴业集团公司温银维总工程师支持以及朝不 楞多金属矿山李建英先生的帮助,谨表衷心感谢。

参考文献

- 杜安道,何红蓼,殷宁万,等.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,赵教敏,王淑贤,等.2001. Garius 管溶样和负离子热表面 电离质谐准确测定辉钼矿铼一锇同侠素地质年龄. 岩矿测试, 20(4):247~252.
- 金岩,刘玉堂,谢玉玲.2005.内蒙古东乌旗地区岩浆活动与多金属 成矿的关系.华南地质与矿产,(1):8~12.
- 李述靖,张维杰,耿明山,等. 1998. 蒙古弧形地质构造特征及形成 演化概论. 北京:地质出版社,104,111~112.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古区域地质志. 中华人民共和国地质矿产部专报,(一)区域地质,第25号. 北京:地质出版 社,1~725.
- 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

- 邵济安,张履桥,牟保磊. 1999.大兴安岭中生代伸展造山过程中的岩浆作用.地学前缘,6(4):339~346.
- 王建平. 2003. 内蒙古东乌旗铜、银多金属成矿带成矿类型分析. 矿 产与地质,17(2):132~135.
- 王荃,刘雪亚,李锦轶. 1991. 中国华夏与安加拉古陆间的板块构 造. 北京:北京大学出版社,74~91.
- 赵一鸣,王大畏,张德全,等. 1994. 内蒙古东南部铜多金属成矿地 质条件及找矿模式. 北京:地震出版社,1~234.
- 中国矿床发现史内蒙古卷编委会. 1996. 中国矿床发现史—内蒙古 卷. 北京:地质出版社,138~140.

References

- Du Andao, Wu Shuqi, Sun Dezhong, et al. 2004. Preparation and Certification of Re-Os Dating Reference Materials: Molybdenite HLP and JDC. Geostandard and Geoanalytical Research, 28(1): 41 ~ 52.
- Du Andao, Zhao Dunmin, Wang Shuxian, et al. 2001. Precise Re-Os Dating for molybdenite by ID-NTIMS with Carius tube sample preparation. Rock and Mineral Analysis, 20(4): 247 ~ 252 (in Chinese with English abstract).
- Du Andao, He Hongliao, Yin Ningwan, et al. 1994. A study on the rhenium-osmium geochronometry of molybdenites. Acta Geologica Sinica, 68 (1): 339 ~ 347 (in Chinese with English abstract).
- Editorial Committee of Discovery History of Mineral Deposits. 1996. The discovery history of mineral deposits of China-volume of Inner Mongolian Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House, 138 ~ 140.
- Inner Mongolian Bureau of Geology and Mineral Resources (IMBGMR). 1991. Regional geology of Inner Mongolian Autonomous Region. Beijing: Geological Publishing House, 1 ~ 725 (in Chinese with

English abstract).

- Jin Yan, Liu Yutang, Xie Yuling. 2005. Relationship between magmatism and polymetal mineralization in Dongwuqi area, Inner Mongolia. Geology and Mineral Resources of South China, (1): 8~12 (in Chinese with English abstract).
- Li S Q, Zhang W J, Geng M S, et al. 1998. Introduction to Geology of Mongolian Arc Tectonic and Its Evolution. Beijing: Geological Publishing House, 104, 111 ~ 112 (in Chinese with English abstract).
- Ludwig K R. 1992. Isoplot V. 2. 57: A plotting and regression program for radiogenic-isotope data: U. S. Geological Survey Open-File Report, 91 ~445, rev. 40.
- Qu Wenjun, Du Andao. 2003. Highly precise Re-Os dating of molybdenite by ICP-MS with Carius tube sample digestion. Rock and Mineral Analysis, 22 (4): 254 ~ 257 (in Chinese with English abstract).
- Shao Jián, Zhang Ltiqiao, Mu Baolei. 1999. Magmatism in the mesozoil extending orogenicprocess of Da Hinggan Mts. Earth Science Frontiers, 6 (4): 339 - 346 (in Chinese with English abstract).
- Wang J B, Wang Y W, Wang L J, Uemoto T. 2001. Tin-polymetallic mineralization in the southern part of the Da Hinggan Mountains, China. Resource Geology, 51 (4): 283 ~291.
- Wang Jianping. 2003. Metallogeny of Dongwu Banner copper and silver polymetallic ore zone of Inner Mongolia. Mineral Resources and Geology, 17 (2): 132 ~135 (in Chinese with English abstract).
- Wang Q, Liu X Y, Li J Y. 1991. Plate Tectonics Between Cathaysia and Angaraland in China. Beijing: Peking Univ. Publ. House, 74 ~ 91 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Y M, Wang D W, Zhang D Q. 1994. Geological setting and exploration model for the Polymetallic deposits occurring in the southeastern part of Inner Mongolia. Beijing: Seismologic Press, 1 ~ 234 (in Chinese).