

# 内蒙古奥尤特铜-锌矿床绢云母 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 同位素 年龄及地质意义

张万益<sup>1)</sup> 聂凤军<sup>1)</sup> 刘妍<sup>1)</sup> 江思宏<sup>1)</sup> 许东青<sup>1)</sup> 郭灵俊<sup>2)</sup>

1) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;  
2) 内蒙古自治区地质调查院, 内蒙古呼和浩特 010020

**摘要** 内蒙古东乌珠穆沁旗奥尤特铜-锌矿床位于西伯利亚板块南缘的查干敖包—奥尤特—朝不楞早古生代构造岩浆带。为了获得该矿床的形成年龄,笔者首次对奥尤特矿床铜-锌矿石中的绢云母进行了 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 同位素年代学研究。所测样品的有效坪年龄值为 $(286.5 \pm 1.8)\text{Ma}$  ( $2\sigma$ ),等时线年龄为 $(287 \pm 10)\text{Ma}$  ( $2\sigma$ ),  $\text{MSWD} = 0.45$ ,  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 的初始值为 $284 \pm 74$ ,等时线年龄与坪年龄在误差范围内完全一致,该结果可能代表绢云母的形成时代。详细的野外地质调查和系统的室内岩(矿)相学研究结果表明,奥尤特绢云母和铜-锌硫化物矿具有密切的成因联系,可以推测奥尤特铜-锌矿床形成于海西晚期,属海西晚期构造—岩浆活动的产物。

**关键词** 氩-氩同位素年龄;绢云母;铜-锌矿床;奥尤特;内蒙古

中图分类号: P597

文献标识码: A

文章编号: 1006-3021(2008)05-592-07

## $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ Geochronology of the Aououte Cu-Zn Deposit in Inner Mongolia and Its Significance

ZHANG Wanyi<sup>1)</sup> NIE Fengjun<sup>1)</sup> LIU Yan<sup>1)</sup> JIANG Sihong<sup>1)</sup> XU Dongqing<sup>1)</sup> GUO Lingjun<sup>2)</sup>

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

2) Inner Mongolia Geological Survey, Hohhot, Inner Mongolia 010020

**Abstract** Located in the easternmost part of the Early Paleozoic Chaganobo-Aououte-Chaobuleng tectono-magmatic belt along the southern edge of the Siberian plate, the Aououte deposit is an important copper-zinc deposit within the Erenhot-Dong Ujmqin Banner metallogenic belt. In order to obtain the ore-forming age, the authors measured the sericite separates from the copper-zinc sulfide ore of the Aououte deposit by the  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  incremental heating method and, as a result, obtained an  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  plateau age of  $(286.5 \pm 1.8)\text{Ma}$  ( $2\sigma$ ), an isochron age of  $(287 \pm 10)\text{Ma}$  ( $2\sigma$ ) with the  $\text{MSWD}$  value of 0.45, and an initial  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  value of  $284 \pm 74$ . As sericite and metallic minerals were formed almost simultaneously, and the plateau age is in agreement with the isochron age within a reasonable error range, the  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dating results of the sericite can be regarded as the ore-forming age of the Aououte copper-zinc deposit. Many researchers believe that the Aououte deposit and its neighboring mineralized areas were mostly formed during the Yanshanian orogeny. This paper, however, shows that the formation of the Aououte copper-zinc deposit was related to Late Hercynian magmatism and, after that, the deposit was exposed at the surface and subjected to weathering, leaching and enrichment. The authors believe that the isotopic age is of great significance in the study of regional geological evolution, the investigation of the ore-forming processes of metallic deposits and the exploration of concealed copper-zinc deposits in the Aououte mineralized district and its neighboring areas.

**Key words**  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  geochronology; sericite; Cu-Zn deposit; Aououte; Inner Mongolia

奥尤特铜-锌矿床位于内蒙古锡林浩特市东北方向 178 km 处,属内蒙古东乌珠穆沁旗呼布钦高毕苏

本文由国家自然科学基金项目(编号:40573025)资助。

收稿日期:2007-12-10;改回日期:2008-01-04。责任编辑:刘志强。

第一作者简介:张万益,男,1974年生,博士,地质找矿及矿床学专业;通讯地址:100037,北京市西城区百万庄路26号;电话:010-68999511;E-mail:zhwy26225@sina.com。

木管辖,矿床地理坐标为 116°02'43" ~ 116°05'50"E, 45°34'19" ~ 45°37'42"N。奥尤特铜-锌矿床的系统找矿工作始于 1958 年下半年,原内蒙古地质局 126 地质队根据当地牧民提供的找矿线索在奥尤特及外围开展 1: 2000 地质填图,并且进行了初步化探测量,随后对褐铁矿化带分布区进行了钻(坑)探揭露。1960 年,该队地质人员在以奥尤特为中心的 10 km<sup>2</sup> 范围内开展了 1: 10000 地形地质草测,并且完成了部分浅井和坑道工程。1958 年至 1959 年间,原内蒙古地质局物化探队还在奥尤特一带及外围开展 1: 50000 和 1: 10000 地球物理和地球化学测量,为后来的地质找矿和科学研究工作积累了丰富的资料数据。

尽管自 20 世纪 60 年代初期至今,不少学者(赵一鸣等,1994,1997;盛继福等,1995;刘建明等,2004;聂凤军等,2004)先后涉足本区开展科学研究和矿产地质调查工作,但是受诸多因素影响,本区深入的铜-锌矿床地质理论研究和找矿勘查方面的工作较少。由于缺少矿床精确定年,有关奥尤特铜-锌矿床的成矿时代和成因一直存在不同看法。盛继福等(1995)根据成矿系列的概念和矿床成矿作用特点,认为奥尤特铜-锌矿床属与燕山期中酸性超浅成—浅成侵入岩浆活动有关的金属矿床成矿系列,矿床类型为火山热液型,矿床的热液成矿流体主要为碱金属(钾和钠)和碱土金属(钙和镁)的卤物流体。聂凤军等(2004)系统总结了中蒙边境及邻区斑岩型铜矿的地质特征,将奥尤特铜-锌矿床类型归属为火山岩型斑岩铜矿床,其成矿作用与海西期构造—岩浆活动有关。笔者在前人工作的基础上对奥尤特铜-锌矿床特征进行了较全面的总结,首次获得了矿床的形成年龄,并对其形成时代和矿床演化过程进行了初步探讨。

## 1 成矿地质背景

奥尤特铜-锌矿床位于西伯利亚西板块东南缘查干敖包—奥尤特—朝不楞早古生代构造—岩浆岩带(内蒙古自治区地质矿产局,1991;李述靖等,1998;聂凤军等,2007a,2007b)。区域范围内的地层主要有下泥盆统敖包亭浑迪组 and 上泥盆统安格尔音乌拉组火山—沉积岩;中石炭统宝力格庙组火山岩。

区域范围内海西期镁质和长英质侵入岩分布广泛。代表性岩体有奥尤特乌拉黑云母花岗岩岩基和奥尤特花岗斑岩株(脉)群,其中黑云母花岗岩分布在铜-锌矿化区最北侧,代表性岩石样品为灰白色—砖红色,不等粒结构,块状构造。主要矿物组分为斜长石(20% ~ 30%)、微斜长石(20% ~ 25%)、

石英(35% ~ 45%)和黑云母(3% ~ 5%),副矿物组合为磁铁矿、钛磁铁矿、钛铁矿、榍石、褐帘石和锆石。6 件全岩样品 SiO<sub>2</sub> 的平均含量为 74.26%,碱质组分(K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O)含量为 7.67%,K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 值为 1.12,属高钾钙-碱系列火成岩。由于受构造变动和热液活动影响,各花岗岩类侵入岩体的部分地段热液蚀变特征明显,个别斜长石为绢云母和泥质斑点所取代,只保留有斜长石假象。此外,次生钾长石交代斜长石以及绿泥石交代黑云母的现象亦较为常见,石英具次生加大现象。

受西伯利亚板块、古蒙古洋壳和华北陆台之间的俯冲、碰撞和对接作用影响,区域上构造线总体呈 NE 走向,主要由一系列 NE 向断裂、复向斜和复背斜。在随后的 SN 向挤压和近 EW 向拉张应力作用下,新生的 NW 向断裂叠加在先期断裂之上,形成现今奥尤特一带广泛分布各种不同展布方向和规模大小不等的构造形迹。值得一提的是,NE 向与 NW 向断裂或褶皱的交汇地段不仅是花岗质岩浆及相关热液流体上侵运移的通道,而且是铜-锌矿体产出的有利部位。尤其是呈群或带产出的张裂隙带,其产出规模和分布形态与铜-锌矿(化)体大体一致(图 1),走向为 310° ~ 330°,倾角 50° ~ 87°。单个裂隙长度为 20 ~ 120 m,宽度几十厘米到几米,是最重要的控矿构造。

## 2 矿床地质特征

奥尤特铜-锌矿化区范围内出露的地层主要有上泥盆统安格尔音乌拉组沉积岩和中石炭统宝力格庙组火山岩以及第四系沉积物(图 1)。上泥盆统安格尔音乌拉组主要为变质粉砂岩和泥质板岩。中石炭统宝力格庙组岩性组合为岩屑(晶屑)凝灰岩、含砾晶屑凝灰岩、火山角砾岩、熔结凝灰岩、含砾熔结凝灰岩、电气石化火山角砾岩和含暗色包体的流纹岩(或流纹斑岩),其中电气石化火山角砾岩、含砾熔结凝灰岩和流纹岩(或流纹斑岩)是奥尤特铜-锌矿区主要的容矿围岩。

目前,在奥尤特铜-锌矿化区范围内,先后发现和圈定 36 条各种形态和不同规模铜-锌矿(化)体,其中除 X 号矿体由混合型铜-锌矿石所构成外,其余 35 条矿体全部由氧化物型铜-锌矿石所组成。铜-锌矿化主要在流纹岩、流纹斑岩、凝灰岩和火山角砾岩中呈脉状、透镜体状和条带状产出。铜-锌矿体长度变化范围为 30 ~ 210 m,平均值为 102 m;厚度为 0.3 ~ 24.0 m,平均 4.4 m;倾斜延深为 15 ~ 180 m,平均 48 m。矿(化)体大多呈 NW 向(310° ~ 330°)

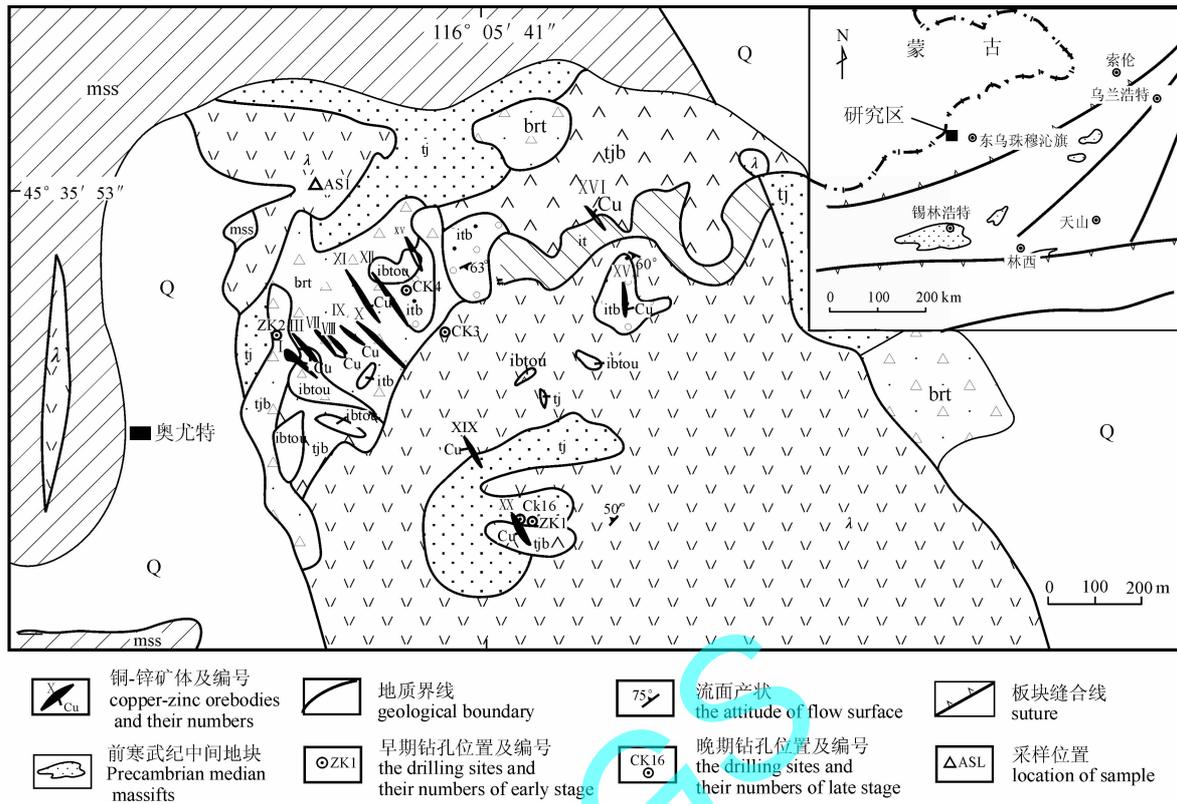


图1 东乌珠穆沁旗奥尤特铜-锌矿床地质简图(据聂凤军等,2007a 修改)

Fig.1 Schematic geological map of the Aououte copper-zinc deposit in Dong Ujmqin Banner (modified from Nie et al. , 2007a)

Q-第四系;tj-中石炭统宝力格庙组晶屑凝灰岩;tjb-中石炭统宝力格庙组含砾晶屑凝灰岩;brt-中石炭统宝力格庙组凝灰质火山角砾岩;  
it-中石炭统宝力格庙组熔结凝灰岩;itb-中石炭统宝力格庙组含砾熔结凝灰岩;ibtou-中石炭统宝力格庙组电气石化熔结火山角砾岩;  
λ-中石炭统宝力格庙组流纹岩和流纹斑岩;mss-上泥盆统安格尔夫音乌拉组变质粉砂岩和泥质板岩

Q-Quaternary; tj-crystal tuff of Middle Carboniferous Baoligemiao Formation; tjb- crystal tuff-bearing gravel of Middle Carboniferous Baoligemiao Formation; brt- tuffaceous volcanic breccia of Middle Carboniferous Baoligemiao Formation; it- ignimbrite of Middle Carboniferous Middle Carboniferous Baoligemiao Formation; itb- ignimbrite-bearing gravel of Middle Carboniferous Baoligemiao Formation; ibt- ignimbrite-bearing gravel of Middle Carboniferous Baoligemiao Formation; ibt- ignimbrite-bearing gravel of Middle Carboniferous Baoligemiao Formation; ibtou- tourmalinized welded volcanic breccia of Middle Carboniferous Baoligemiao Formation; λ- rhyolite and rhyolite porphyry of Middle Carboniferous Baoligemiao Formation; mss- metasilstone and argillaceous slate of Upper Devonian Angeryinwula Formation

展布(图1),向NE或SW向倾斜,倾角为52°~87°。

铜-锌矿化垂直分带现象较为明显:从地表到15 m深处为地表氧化淋滤带,15~30 m为氧化富集带,55 m以下为原生硫化物带。从奥尤特铜-锌矿区的ZK3 钻孔化学分析资料来看,从地表至孔深38 m,铜的品位较低,一般小于1.0%,孔深39~60 m铜矿品位增高,最高达3.4%,而60 m以下深度铜品位又降低,一般小于1.0%。以上变化现象显示铜矿床具有氧化富集特征。

矿石结构主要有半自形晶粒状、交代残余、包含、胶状和同心环带状;构造主要为细脉状、浸染状、斑杂状、蜂窝状和角砾状。金属矿物主要有黄铜矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、孔雀石、铜兰、蓝铜矿、褐铁矿、辉铜矿、赤铜矿和黄钾铁矾等;脉石矿物有石英、长石、电气石、绿泥石、绢云母和方解石(聂凤军等,2004)。

矿床围岩热液蚀变具有分带性,从铜-锌矿化区中心向外,分别为硅化、电气石化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化和高岭石化。硅化和电气石化呈细脉(1~5 cm)、线脉(<1 cm)和不规则团块状交代各类火山岩,特别是熔结凝灰岩和火山角砾岩。电气石-石英蚀变带呈NE向分布,长700 m,宽110~250 m,并且为绢云母化和绿泥石化带所环绕。蚀变带中的电气石经电子探针分析结果表明为铁电气石,属中高温岩浆热液活动的产物(赵一鸣等,1994;聂凤军等,2007a)。绢云母化和绿泥石化带明显叠加在硅化带或电气石化带之上,特征蚀变矿物有绢云母、石英、绿泥石、黄铁矿和钠长石。绢云母化和绿泥石化带的外侧为碳酸盐化带或高岭石化带,这两类蚀变带的代表性矿物分别为方解石和高岭石以及黄铁矿和粘土类矿物,其形成时代明显晚

于电气石、石英、绢云母和绿泥石。在所有上述几种热液蚀变带中,电气石化和硅化带、绢云母化和绿泥石化带与铜矿化带具密切空间分布关系,反映了它们之间存在有密切成因联系。

### 3 成岩(矿)时代

#### 3.1 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 同位素分析方法

所测样品均选自同一件代表性铜-锌矿石的绢云母颗粒,样品是通过全矿石样品粉碎、过筛、手工淘洗、重液分离和实体显微镜检查等工序完成的,单矿物样品的纯度大于98%(体积)。

用于<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 中子活化测定的绢云母样品重量为309.52 mg,其在核反应堆中的照射参数为  $J = 0.016227$ 。首先将纯的绢云母在二次水中多次超声波清洗,清除矿物表面和解理缝内在天然状态下和碎样过程中吸附的粉末和杂质。然后,在丙酮中清洗2次,每次3 min,清除矿物表面吸附的油污等有机物质。清洗后的样品放入温度为80℃烘箱中烘12 h,烘去表面吸附的水份。把样品用铝箔包裹后,和用于中子通量监测的标准样一起封入石英瓶中,置于中国原子能科学研究所的49-2核反应堆H4孔道内进行中子照射。中子流密度为  $7.6 \times 10^{12} \text{ n/cm}^2\text{s}$ ,照射时间为4255 min,相应积分中子通量为  $1.9 \times 10^{18} \text{ n/cm}^2\text{s}$ 。为防止慢中子的干扰,用0.5 mm厚的镅片屏蔽样品罐。为避免氩的热扩散丢失,照射期间样品罐用水冷却,出口水温低于48℃,照射期间样品罐转速2 r/min,以克服横向中子通量梯度变化,用做中子通量监测的标样是我国周口店黑云母标样ZBH-25,K含量7.6%,年龄133.5 Ma(王松山等,1985)。

所有样品的<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 同位素分析均是在国土资源部同位素实验室完成的,照射后样品冷却到安全剂量以下,置于氩提取系统中进行阶段加热以析出氩。采用电子轰击熔样,用热偶计和光学温度计联合测温,每个阶段加热30 min,提取的每份气体经纯化后直接进入MM1200型质谱分析室做静态氩同位素测定。每个阶段的视年龄计算均经过质量歧视、空白、钾和钙的干扰同位素<sup>37</sup>Ar的放射性衰变校正。经测定,钾与钙的干扰同位素的校正因子为:  $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_{\text{K}} = 4.78 \times 10^{-3}$ ,  $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 2.398 \times 10^{-4}$ ,  $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})_{\text{Ca}} = 8.06 \times 10^{-4}$ 。<sup>37</sup>Ar的放射性衰变校正采用的半衰期为35.1 d。同位素的等时线年龄是采用Ludwig(2001)计算机软件计算的,<sup>40</sup>K衰变常数为  $5.543 \times 10^{-10}/\text{a}$ (Steiger et al.,1977)。详细的试验流程请见

陈文等(2002)和Chen等(2002)文献。

#### 3.2 <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 同位素年龄分析结果

对代表性铜-锌矿石中绢云母样品进行了12阶段的加热分析,在500℃到1400℃区间内,所获分析数据构成一条基本上未受到明显热事件扰动的<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 年龄谱线(表1,图2(a))。受核反冲和测量误差因素影响,在年龄谱线左侧的始点处出现有4个明显不同的视年龄值,即  $(65.2 \pm 3.5) \text{ Ma}$ 、 $(23.7 \pm 1.6) \text{ Ma}$ 、 $(87.2 \pm 2.2) \text{ Ma}$  和  $(254.1 \pm 4.7) \text{ Ma}$ 。相比之下,受加热后期阶段大量<sup>39</sup>Ar释放的影响,在年龄谱线最右侧的终点处出现5个较低的视年龄值,它们分别为  $(196.5 \pm 4.6) \text{ Ma}$ 、 $(193.3 \pm 6.7) \text{ Ma}$ 、 $(41.46 \pm 0.99) \text{ Ma}$ 、 $(20.71 \pm 0.67) \text{ Ma}$  和  $(15.51 \pm 0.48) \text{ Ma}$ 。除了上述9个较低的视年龄值外,其余3个年龄谱段<sup>39</sup>Ar的释放量占绢云母样品总量的83.3%,所构成的有效谱(坪)年龄值为  $(286.5 \pm 1.8) \text{ Ma}$ (2 $\sigma$ )(图2(a))。在<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 对<sup>39</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 图中(图2(b)),3个加热阶段所获分析数据构成一条相关性较好的直线,与之相对应的等时线年龄为  $(287 \pm 10) \text{ Ma}$ (2 $\sigma$ ),MSWD = 0.45。另外,由图2(b)可知,<sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 的初始值为  $284 \pm 74$ ,与尼尔值(295.5; Nier,1950)比较接近,这表明绢云母样品中没有大量过剩氩存在。

### 4 讨论

鉴于本次用于<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 法同位素年龄测定的绢云母样品均选自同一件铜-锌硫化物矿石样品,在采样地点和手标本上均未见明显后期构造变形和热液蚀变叠加改造现象;绢云母样品所获有效分析数据(<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar 与<sup>39</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar 值)相关系数好于0.988,具有良好的线性关系;再者,所获绢云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 同位素年龄值与野外观察到的地质现象和室内岩(矿)相学研究结果相吻合,所以上述所测年龄可靠。由于该样品的坪年龄和等时线年龄在误差范围内完全一致,因此笔者把  $(286.5 \pm 1.8) \text{ Ma}$  作为绢云母的形成时代。详细的野外调查和系统的室内研究工作表明,奥尤特铜-锌矿(化)体产于电气石化、绢云母化火山角砾岩、含砾熔结凝灰岩和流纹岩(流纹斑岩)中,所以奥尤特铜-锌矿床的形成与电气石化、绢云母化这一时期的相关热事件有关。

前人的研究表明,西伯利亚板块同中朝板块在晚泥盆世末—早石炭世初发生碰撞后,在内蒙古中部形成3条规模宏大的I型花岗岩带,由南向北分别为:中朝地台北缘的白云鄂博—赤峰岩带、靠

表1 奥尤特矿床代表性铜-锌矿石中绢云母样品  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  阶段升温加热分析数据  
Table 1  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  stepwise heating data of sericite from representative copper-zinc ore of the Aououte deposit

阶段	T / °C	( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) <sub>m</sub>	( $^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) <sub>m</sub>	( $^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) <sub>m</sub>	( $^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ) <sub>m</sub>	$^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}$	$^{39}\text{Ar}$ / $\times 10^{-14}$ mol	$^{39}\text{Ar}$ 累积 / %	Age / Ma
1	500	34.8218	0.1080	4.1764	0.1279	3.1994	2.99	0.44	65.20
2	600	12.0445	0.0385	6.8482	0.1108	1.1472	8.23	1.66	23.70
3	700	13.9732	0.0344	6.6581	0.1062	4.3059	7.03	2.70	87.20
4	800	16.1151	0.0105	1.8616	0.0361	13.1485	4.58	3.37	254.10
5	900	16.5791	0.0055	1.4239	0.0206	15.1255	220.04	35.86	288.50
6	950	16.4437	0.0059	2.4588	0.0215	14.9072	204.88	66.11	285.60
7	1000	17.8797	0.0130	10.3862	0.0291	14.8983	139.45	86.70	285.40
8	1050	14.7124	0.0223	23.7132	0.0309	9.9999	27.93	90.82	196.50
9	1100	18.4055	0.0384	35.3198	0.0519	9.8285	7.29	91.89	193.30
10	1200	3.9278	0.0074	4.0726	0.0268	2.0207	20.04	94.85	41.46
11	1300	3.0556	0.0073	1.3340	0.0284	1.0039	19.03	97.66	20.71
12	1400	3.3300	0.0089	0.6699	0.0258	0.7504	15.83	100.00	15.51

注:表中标有 m 脚码的数值为实测比值,  $^{40}\text{Ar}^*$  表示放射性成因同位素值;所测样品重量  $W = 309.52$  mg;样品在核反应堆中的照射参数  $J = 0.011505$ ; 测试单位:中国地质科学院地质研究所同位素实验室。

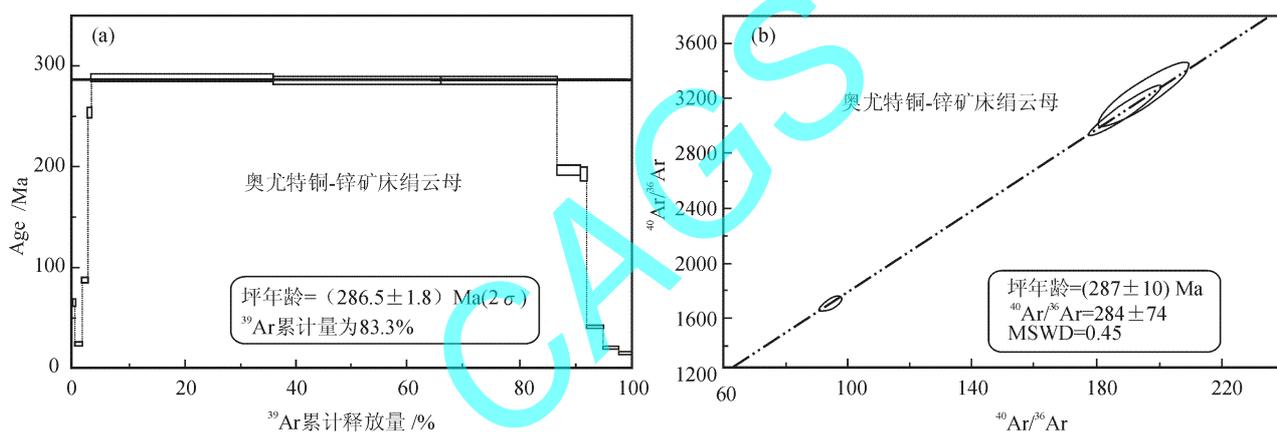


图2 奥尤特矿床代表性铜-锌矿石中绢云母样品  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  阶段升温年龄谱图(a)和  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  对  $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  同位素等时线图(b)  
Fig. 2 Map of  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  stepwise heating age spectra (a) and  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  versus  $^{39}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  isochron (b) of sericite from representative copper-zinc ore in the Aououte deposit

近碰撞带的二连—锡林浩特岩带和西伯利亚板块南缘的白音乌拉—东乌珠穆沁旗岩带(洪大卫等, 1994)。奥尤特铜-锌矿床就位于白音乌拉—东乌珠穆沁旗岩带。该岩带的形成时代为(300 ~ 315) Ma, 被认为是晚造山活动的产物;而侵入其中的碱性花岗岩带形成时代为(276 ~ 292) Ma, 形成于造山后的张性环境(洪大卫等, 1994; 张德全, 1997; Wu et al., 2002)。碱性花岗岩带往西进入蒙古境内, 往东可延伸至黑河(Wu et al., 2002)。在我国内蒙境内代表性的碱性岩体从西向东有白音乌拉(286 Ma)、祖横得楞(276 ~ 284 Ma)、扎那乌拉(277 Ma)、那仁宝力格、青克勒宝力格和沙尔哈达等(洪大卫等, 1994), 在黑河附近有小山屯岩体(285 Ma)、四站林场岩体(282 Ma)和大黑山岩体等(292 Ma)(Wu et

al., 2002)。随着近几年找矿勘查工作的不断加强, 人们已经在这些碱性岩体周围发现了许多铜多金属矿床(点), 如苏尼特左旗的达赖庙铜矿点; 阿巴嘎旗的莫若格钦铜多金属矿床、沙木尔吉(乌伊图)铜铋矿床和格勒敖包铜多金属矿点; 东乌珠穆沁旗的乌太乌拉铜矿点(聂凤军等, 2004, 2007a; 张万益等, 2007)。在西侧的蒙古国境内, 欧玉陶勒盖铜(金)矿床((411 ~ 307) Ma)(Perello et al., 2001; 聂凤军等, 2004)和查干苏布尔加铜(钼)矿床((256 ~ 339) Ma)(Watanabe et al., 2000; 聂凤军等, 2004)也是近几年发现的超大型矿床。这些矿床(点)的发现表明在兴蒙造山带的后造山或造山后时期, 伴随碱性岩的大量侵入, 白音乌拉—东乌珠穆沁旗一带发生了大规模的成矿热液事件, 奥尤特

铜-锌矿床就是与之同时期形成的产物。

兴蒙造山带铜多金属矿床(点)都与区域侵入岩在形成时代和物质来源上具有一定的继承性(赵一鸣等,1994;洪大卫等,2003;王建平,2003;Jahn et al.,2004;聂凤军等,2004;王守光等,2004;金岩等,2005)。为了示踪成岩(矿)物质来源,聂凤军等(2007a)对奥尤特铜-锌矿区的流纹斑岩及其中的暗色包体进行了钐-铈同位素分析。3件流纹岩和两件暗色包体的分析结果表明, $\epsilon\text{Nd}(\text{包体}) > \epsilon\text{Nd}(\text{流纹岩}) > 0$ ,这一特征与兴蒙造山带具正 $\epsilon\text{Nd}(t)$ 值的古生代和中生代花岗岩类侵入岩(洪大卫等,2000,2003)相似,这一方面反映了它们具有相似同位素成分的源区,另一方面也显示暗色包体比流纹岩具有更多的幔源成分。结合矿床的形成年龄( $286.5 \pm 1.8$ )Ma、系统的野外地质调查、详细的岩(矿)石鉴定分析以及同位素特征等,笔者认为奥尤特铜-锌矿的形成经历了以下过程:

晚古生代时期( $286.5 \pm 1.8$ )Ma以前,西伯利亚板块、古蒙古洋壳和华北陆台发生多期次俯冲、碰撞和对接作用。强烈的俯冲碰撞不仅导致早古生代岩(体)层发生褶皱和形成二连—东乌旗NE向深大断裂,使区域火山—沉积岩地层发生中低级变质效应,而且形成大量垂直主断裂的NW向次级张性断裂。由于沟通壳幔的深大断裂的减压促使大量富含成矿物质的深源岩浆上涌,起源于地幔的岩浆一部分与有限的地壳物质发生同化混染和结晶分异作用(AFC),形成大量流纹岩或流纹斑岩喷溢(或上侵定位)地表,另一部分还未来得及同化混染的幔源岩浆则留在流纹岩中形成暗色包体。在随后的海西晚期( $286.5 \pm 1.8$ )Ma,本区再次爆发大规模的中酸性岩浆活动,再一次为铜-锌矿床的形成提供矿质、热能和动力。当含矿岩浆侵入到近地表时,迅速向外释放热和挥发份,导致先期形成围岩的温度和压力发生变化。由岩浆侵入受热而产生的高温热液活化围岩中的成矿元素,使这些元素的含量呈数量级增高(季克俭等,1989)。此后,随着温度和压力的降低,这些被活化的成矿元素连同岩浆演化的残余矿质一起在合适的部位沉淀,形成了奥尤特铜-锌硫化物矿床。含铜、锌脉体形成之后,流纹岩和铜-锌矿体长期裸露地表,经历漫长的风化淋滤作用,最终在奥尤特形成顶部次生富集的氧化物型铜矿化带。

综上所述,奥尤特铜-锌矿床是一处与海西晚期酸性火山岩或次火山岩有关的高-中温热液铜-锌矿床,是海西晚期富碱质组分岩浆热液活动的产物。

## 参考文献

- 陈文,刘新宇,张思红. 2002. 连续激光阶段升温<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar地质年代测定方法研究[J]. 地质论评,48(增刊):127~134.
- 洪大卫,黄怀曾,肖宜君,徐海明,靳满元. 1994. 内蒙古中部二叠纪碱性花岗岩及其地球动力学意义[J]. 地质学报,68(3):219~230.
- 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.
- 洪大卫,王试光,谢锡林,张季生,王涛. 2003. 试析地幔来源物质成矿域[J]. 矿床地质,22(1):41~55.
- 季克俭,吴学汉,张国柄. 1989. 热液矿床的矿源、水源和热源及矿床分布规律[M]. 北京:北京科技出版社,87~111.
- 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[J]. 华南地质与矿产,(1):8~12.
- 李述靖,张维杰,耿明山. 1998. 蒙古弧形地质构造特征及形成演化概论[M]. 北京:地质出版社,104,111~112.
- 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.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙古区域地质志[M]. 中华人民共和国地质矿产部专报(1),区域地质,第25号. 北京:地质出版社,1~725.
- 聂凤军,江思宏,张义,刘妍,胡朋. 2004. 中蒙边境地区斑岩型铜矿床地质特征及成因[J]. 矿床地质,23(2):176~189.
- 聂凤军,江思宏,张义,白大明,胡朋,赵元艺,张万益,刘妍. 2007a. 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,1~574.
- 聂凤军,张万益,杜安道,江思宏,刘妍. 2007b. 内蒙古朝不楞砂卡岩型铁多金属矿床辉钼矿-铼-钨同位素年龄及地质意义[J]. 地球学报,28(4):315~323.
- 盛继福,张德全,李岩. 1995. 大兴安岭中南段金属矿床流体包裹体研究[J]. 地质学报,69(1):56~66.
- 王建平. 2003. 内蒙古东乌旗铜、银多金属成矿带成矿类型分析[J]. 矿产与地质,17(2):132~135.
- 王守光,黄占起,苏新旭,沈存利,胡凤翔. 2004. 一条值得重视的跨境成矿带—南戈壁—东乌旗铜多金属成矿带[J]. 地学前缘,11(1):249~255.
- 王松山,桑海清,胡世玲,裘冀. 1985. 应用49-2反应堆进行<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar定年及迁安遭庄群斜长角闪岩年龄谱的地质意义[J]. 岩石学报,2(3):36~42.
- 张德全. 1997. 区域花岗岩浆作用及与成矿的关系[J]. 见:赵一鸣等主编. 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,22~38.
- 张万益,聂凤军,白大明. 2007. 内蒙古阿巴嘎旗莫若格钦铜多金属矿找矿勘查重要进展[J]. 矿床地质,26(5):封3.
- 赵一鸣,王大畏,张德全,傅先政,鲍修波,李鹤年,艾永富. 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.
- 赵一鸣,张德全. 1997. 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.

## References

- CHEN Wen, LIU Xinyu, ZHANG Sihong. 2002. Continuous laser step-wise heating <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar dating technique[J]. Geol. Rev., 48 (Supp. ): 127~134 (in Chinese with English abstract).
- CHEN Wen, ZHANG Yan, JI Qiang, WANG Songshan, ZHANG Jianxin. 2002. The magmatism and deformation times of the Xidatan

- rock series, East Kunlun Mountain[J]. *Science in China*, 45 (Supp.): 20~27.
- HONG Dawei, WANG Shiguang, XIE Xilin, ZHANG Jisheng. 2000. Genesis of positive  $\epsilon\text{Nd}(t)$  granitoids in the Da Hinggan Mts. - Mongolia orogenic belt and growth continental crust[J]. *Earth Science Frontiers*, 7(2): 441~456 (in Chinese with English abstract).
- HONG Dawei, HUANG Huaizeng, XIAO Yijun, XU Haiming, GE Manyuan. 1994. The Permian alkaline granites in central Inner Mongolia and their geodynamic significance[J]. *Acta Geologica Sinica*, 68(3): 219~230 (in Chinese with English abstract).
- HONG Dawei, WANG Shiguang, XIE Xilin, ZHANG Jisheng, WANG Tao. 2003. Metallogenic province derived from mantle sources: A case study of central asian orogenic belt[J]. *Mineral Deposits*, 22(1): 41~55 (in Chinese with English abstract).
- Inner Mongolian Bureau of Geology and Mineral Resources (IMBGM). 1991. Regional geology of Inner Mongolian Autonomous Region [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~725 (in Chinese with English abstract).
- JAHN B M, BRIAN W, BORIS N, NICK D. 2004. Phanerozoic continental growth in Central Asia[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23: 599~603.
- JI Kejian, WU Xuehan, ZHANG Guobing. 1989. The distribution rules and source of ore, water and heat of hydrothermal deposits[M]. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 87~111 (in Chinese with English abstract).
- JIN Yan, LIU Yutang, XIE Yuling. 2005. Relationship between magmatism and polymetal mineralization in Dongwuqi area, Inner Mongolia[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (1): 8~12 (in Chinese with English abstract).
- LI Shujing, ZHANG Weijie, GENG Mingshan. 1998. Introduction to Geology of Mongolian Arc Tectonic and Its Evolution[M]. Beijing: Geological Publishing House, 104; 111~112 (in Chinese with English abstract).
- LIU Jianming, ZHANG Rui, ZHANG Qingzhou. 2004. The regional metallogeny of Da Hinggan Ling, China[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 269~277 (in Chinese with English abstract).
- LUDWING K R. 2001. Isoplot/Ex, rev. 249: Geochronological Toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Center[M]. Special Publication, 1: a.
- NIE Fengjun, JIANG Sihong, ZHANG Yi, BAI Daming, HU Peng, ZHAO Yuanyi, ZHANG Wanyi, LIU Yan. 2007a. Metallogenic studies and prospecting orientation in central and eastern segments along China-Mongolia border[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1~574 (in Chinese with English abstract).
- NIE Fengjun, JIANG Sihong, ZHANG Yi, LIU Yan, HU Peng. 2004. Geological features and origin of porphyry copper deposits in China-Mongolia border region and its neighboring area[J]. *Mineral Deposits*, 23(2): 176~189 (in Chinese with English abstract).
- NIE Fengjun, ZHANG Wanyi, DU Andao, JIANG Sihong, LIU Yan. 2007b. Re-Os isotopic age dating of olynbenite separates from the Chaobuleng skarn iron-polymetallic deposit, Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 28(4): 315~323 (in Chinese with English abstract).
- NIER A O. 1950. A redetermination of the relative abundances of the isotope of carbon, nitrogen oxygen, argon, and potassium[J]. *Phys.*, 77: 789~793.
- PERELLO J, COX D, GARAMJAV D, SANJDORJ S, DIAKOV S, SCHISSEL D, MUNKHBAT T O, OYUN G. 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.
- SHENG Jifu, ZHANG Dequan, LI Yan. 1995. Fluid inclusion geochemistry of metallic ore deposits in the south-central sector of the Da Hinggan Mountains in China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 69(1): 56~66 (in Chinese with English abstract).
- STEIGER R H, JAGER E. 1977. Subcommittee on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology[J]. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 36: 359~362.
- WANG Jianping. 2003. Metallogeny of Dongwu Banner copper and silver polymetallic ore zone of Inner Mongolia[J]. *Mineral Resources and Geology*, 17(2): 132~135 (in Chinese with English abstract).
- WANG Shouguang, HUANG Zhanqi, SU Xingxu, SHEN Cunli, HU Fengxiang. 2004. A notable metallogenic belt striding across the border between China and Mongolia-south Gobi-Dongwuqi Copper-polymetallic metallogenic belt[J]. *Earth Science Frontiers*, 11(1): 249~255 (in Chinese with English abstract).
- WANG Songshan, SANG Haiqing, HU Shiling, QIU Ji. 1985.  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  age spectra on the amphibolite from the Caozhuang Group, Qian'an, using 49-2 reactor, and its geological significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2(3): 36~42 (in Chinese with English abstract).
- WATANABE Y, 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.
- WU Fuyuan, SUN Deyou, LI Huimin, et al. 2002. A-type granites in northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis[J]. *Chemical Geology*, 187: 143~173.
- ZHANG Dequan. 1997. Tectonic evolution and ore-controlling role of the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions[J]. In: Edit by ZHAO Yiming, et al., Metallogeny and prospective evaluation of copper-polymetallic deposits in the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions[M]. Beijing: Seismological Press, 22~38 (in Chinese with English abstract).
- ZHANG Wanyi, NIE Fengjun, BAI Daming. 2007. The important achievement of ore prospecting in Moruogeqing copper-polymetallic deposit of Abaga Banner, Inner Mongolia[J]. *Mineral Deposits*, 26(5): inside back cover (in Chinese).
- ZHAO Yiming, WANG Dawei, ZHANG Dequan, FU Xianzheng, BAO Xiubo, LI Henian, AI Yongfu. 1994. Geological setting and exploration model for the polymetallic deposits occurring in the southeastern part of Inner Mongolia[J]. *Seismologic Press, Beijing*, 1~234 (in Chinese with English abstract).
- ZHAO Yiming, ZHANG Dequan, et al. 1997. Metallogeny and prospective evaluation of copper-polymetallic deposits in the Da Hinggan Mountains and its adjacent regions[M]. Beijing: Seismologic Press, 1~318 (in Chinese with English abstract).