

大兴安岭南段西坡金属矿床特征及成矿规律

张万益^{1,2} 聂凤军³ 刘树文¹ 左力艳² 陕 亮² 姚晓峰²

(1. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871; 2. 中国地质调查局发展研究中心, 北京 100037;
3. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

摘要:通过对大兴安岭南段西坡典型矿床地质特征、矿床成因等研究,总结了区内金属矿床的成矿规律。结果表明,大兴安岭南段西坡不同产状的岩矿石中金属硫化物样品硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 值大部分在 +1‰~+8‰, 硫主要来源于岩浆硫, 有少部分沉积硫参与。硫化物样品 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值变化范围分别为 17.949~18.529, 15.370~15.691 和 37.653~38.460, 铅同位素主要为幔源。成矿元素以铁、银、铅、锌、金、铜、钼等为主, 矿床类型主要有矽卡岩型和中低温热液型两类, 均明显受地层、构造和岩浆岩作用控制。一般来说, 金属矿床的容矿围岩为奥陶系、泥盆系和石炭系火山-沉积岩, 且以泥盆纪地层为主, 在碳酸盐岩地段花岗岩类交代围岩形成矽卡岩型矿床, 在泥质板岩、砂岩等地段则形成中低温热液矿床。NE 向和 NW 向的张性断裂为重要的导矿通道或容矿构造。矿床在时空分布和成因上与海西期至燕山期花岗岩类侵入岩体有关。

关键词:铜铅锌矿; 铁矿; 成矿规律; 硫铅同位素; 大兴安岭; 内蒙古

中图分类号: P617; P618.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2013)05-1583-17

1 前 言

兴蒙造山带被认为是目前已知发展历史最长、构造岩浆活动最复杂的一条巨型造山带^[1]。该带不仅古生代至中生代的花岗岩类分布广泛, 而且各种产出背景、成因类型的多金属矿床(点)星罗棋布^[2-3]。位于兴蒙造山带东南段的大兴安岭南段西坡, 更是以其特殊的地质构造背景和有利的成矿环境而受到矿床学者的广泛关注^[2,4-12], 朝不楞、吉林宝力格、阿尔哈达、查干敖包等一批大中型矿床以及多处矿点的发现, 进一步证明了该区具有巨大的找矿潜力^[13]。由于地处偏远, 该区的基础地质工作程度一直较低, 典型矿床缺少系统研究。本文在详细野外地质工作的基础上, 通过总结区内典型矿床地质特征、探讨矿床成因, 总结区内金属矿床的成矿规律。

2 区域地质背景

大兴安岭南段西坡(本文指内蒙古东乌旗地区)位于南蒙古巨大弧形构造带的南侧、华北地台与西伯利亚板块之间的古生代造山带内, 为中亚巨型造山带和金属成矿带的重要组成部分^[7]。本区经历了古生代中亚—蒙古造山与中生代火山岩浆活动等多重构造影响, 构造活动复杂, 对成矿非常有利。区内主要赋矿地层为泥盆系中统塔尔巴格特组、泥盆系上统安格尔音乌拉组及二叠系下统宝力高庙组。岩浆活动频繁, 海西期以大规模岩浆侵入为主, 而燕山运动则以断块及继承性断裂活动为主要特点, 并伴随强烈的火山喷发和岩浆侵位, 形成著名的大兴安岭复合火山岩带, 在区内形成了丰富的多金属矿产资源^[14]。构造格架以北东向深大断裂为主, 次为北西

收稿日期: 2012-08-24; 改回日期: 2013-09-09

基金项目: 中国地质调查局地质矿产调查评价专项资助项目(1212011085534)部分成果。

作者简介: 张万益, 男, 1974年生, 博士, 高级工程师, 主要从事地质找矿及矿床学研究工作; E-mail: wanyizhang0810@qq.com。

向、北北东向和东西向断裂。褶皱构造发育,褶皱轴向与区域主干断裂一致,表现为一系列的北东向复式背斜和向斜。侵入岩主要为花岗岩类,侵入时代包括海西期、印支期和燕山期。侵入岩主要特征为普遍富碱,大部分属钾质、碱性-钙碱性花岗岩类,具有较低的($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)_i 初始比值、正的 $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 值和年轻的模式年龄^[15]。

3 金属矿床分布特征

大兴安岭南段西坡成矿地质环境优越,金属矿床(点)的产出特点可概述为分布广泛、类型繁多、成矿时代相对集中。大多数金属矿床(点)出现在不同地质时代火山-沉积岩地层中,并且主要与海西期、印支期花岗岩类侵入岩体具有密切空间分布关系(图 1),暗示了古生代—中生代构造-岩浆活动与金属成矿作用的成因联系。区内金属矿产以铁、铅-锌、银和铜为主,次为钼、钨、铋、金等。具有重要工业价值和巨大找矿潜力的矿床主要有:(1)铁多金属矿床(点),代表性矿床有朝不楞、查干敖包,规模为中型及以上;(2)铜多金属矿床(点),代表性矿床有奥尤特;(3)钨矿床(点),代表性矿床有沙麦和必鲁特;(4)铅-锌-银矿床(点),代表性矿床有阿尔哈达和曼特敖包;(5)银-金矿床,代表性矿床为吉林宝力格;(6)钼矿床,代表性矿床为迪彦钦阿木^[7]。结合各矿床(点)的空间几何分布形态和部分矿床(点)成矿作用特征,本区主要金属矿床(点)可大体划分为以下两种类型:(1)矽卡岩型;(2)中-低温热液型。值得一提的是,这些矿床的找矿勘查工作和理论研究程度普遍较低,许多矿(床)点还只停留在预查阶段,一些中型以上矿床的深部和外围尚存在有较大的找矿潜力。

4 典型矿床地质特征

4.1 吉林宝力格中-低温热液型银-金矿床

吉林宝力格银-金矿床位于内蒙古东乌旗政府所在地乌里雅斯太镇北东 120 km。目前,矿区内共发现银-金矿脉 35 条。其中 5 条工业矿体计算资源量分别为 Ag 669 t, Au 1102 kg, Cu 4893 t, 银达到中型矿床规模^[18]。矿区内出露的地层较单一,均为泥盆系上统安格尔夫音乌拉组,岩性组合为泥质板岩夹

砂质、粉砂凝灰质火山碎屑岩。断裂、褶皱以及节理、劈理构造发育。区内断裂构造分为北东向张扭性断裂(如 F2、F3、F4、F6 等)、东西向压性断裂(F1、K0)、北西向张扭断裂(F5)及近南北向张性断裂,其中北东向断裂和东西向断裂为含矿断裂(即 K2、F3、F4、K0、K1、F6)(图 2)。区内岩浆岩主要为细粒斑状二长花岗岩和花岗闪长斑岩。

以 F5 断裂为界,矿床分为东、西两个矿段,具有工业价值的矿体共 5 条,呈近似平行排列。西矿段分布 K0、K1 两条矿体,其中 K0 矿体走向长 200 m,最大厚度 4.56 m,平均厚度 2.67 m,单样最高 Ag 品位 5543.00×10^{-6} ,平均品位 840.83×10^{-6} 。东矿段共分布 3 条矿体,自北西南东分别为 K2、K3、K4,其中 K4 矿体是东矿段规模最大、品位最富的矿体。K4 矿体走向长 393 m,平均厚度 2.21 m,呈似层状,走向上、倾向上均呈波状弯曲,Ag 单样最高品位 3606.00×10^{-6} ,平均品位 622.32×10^{-6} ;伴生金品位 0.53×10^{-6} ,铜 0.52%^①。

与矿化最为密切的围岩蚀变有黄铁矿化(地表氧化成褐铁矿)和硅化。矿石中主要金属矿物有黄铁矿、褐铁矿、白铁矿、毒砂、自然银、银金矿、金银矿、辉银矿、自然金等。矿石结构有胶状结构、环带状结构、皮壳状结构、次生假象结构、次生交代残留结构以及自形—半自形—他形粒状结构。主要矿石构造有蜂窝状、团块状、角砾状等类型。

4.2 阿尔哈达中-低温热液型铅-锌-银矿床

阿尔哈达铅-锌-银矿床位于乌里雅斯太镇北东 185 km。目前,在阿尔哈达 I 号矿带的 7 线~39 线地段内发现 50 个工业矿体,47 个矿体共获得资源量为:铅+锌 57 万 t;银 630 t,此外还伴生一定规模的锡、镓、锗、铟、金等。矿区范围内出露的地层主要有上泥盆统安格尔夫音乌拉组 and 上侏罗统白音高老组火山-沉积岩以及古近—新近系和第四系沉积物(图 3)。断裂构造以北东东向、北西向和南北向 3 组断裂最为发育,并且与铅-锌矿体具密切空间分布关系。在矿区范围内的地表和深部工程中均未见到侵入岩产出,但是在该矿床北东和北西方向 2~3 km 处分别产出有印支期阿尔哈达黑云母花岗岩岩基和燕山早期安儿基乌拉黑云母花岗岩岩株。

阿尔哈达地区已发现和圈定 3 条含矿脉带(I、

①河南省地质矿产勘查开发局第一地质勘查院.内蒙古东乌旗吉林宝力格矿区银矿详查报告.2005:1-89.

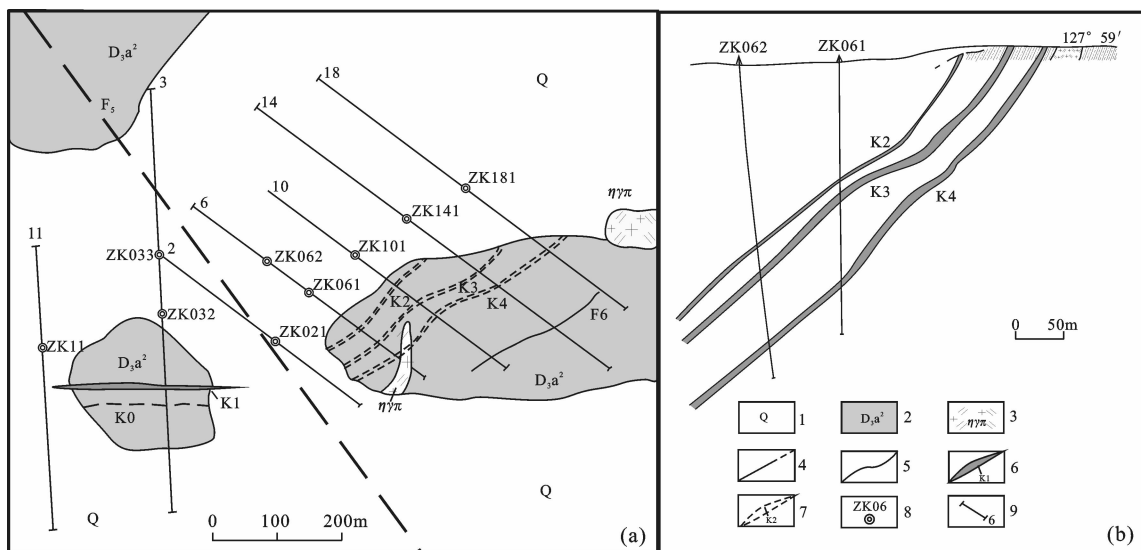


图2 吉林宝力格银-金矿床地质图(a)与6线地质剖面图(b)(根据报告①修改)
 1—第四系;2—上泥盆统粉砂质泥岩夹砂岩;3—斑状二长花岗岩;4—实/推测断层;5—地质界线;6—矿体及编号;
 7—(隐伏)矿体及编号;8—钻孔位置及编号;9—勘探线位置及编号
 Fig.2 Geological map of the Jilin Baolige silver-gold deposit and geological section along No. 6 exploration line (modified after ①)
 1-Quaternary; 2- Upper Devonian silty mudstone and sandstone; 3-Porphyritic adamellite; 4- Measured and inferred fault;
 5- Geological boundary; 6- Ore body and its serial number; 7- Concealed ore body and its serial number; 8- Location and serial number of drill hole; 9- Exploration line and its serial number



图3 阿尔哈达铅-锌-银矿床地质简图(根据文献[7]改编)
 1—第四系;2—上侏罗统白音高老组火山-沉积岩;3—上泥盆统安格尔夫音乌拉组上部岩性段;4—上泥盆统安格尔夫音乌拉组中部岩性段;
 5—上泥盆统安格尔夫音乌拉组下部岩性段;6—含矿片理化带;7—不整合面;8—实测/推测断层;9—铅-锌-银矿段(矿体);10—古板块缝合线;
 11—前寒武纪中间地块;12—矿区位置
 Fig.3 Schematic geological map of the Arehada lead-zinc-silver deposit (modified after reference [7])
 1-Quaternary; 2- Upper Jurassic volcanics and sediments of Baiyin Gaolao Formation; 3-Upper part of upper Devonian Angeryin Wula Formation;
 4-Midder part of upper Devonian Angeryin Wula Formation; 5-Lower part of upper Devonian Angeryin Wula Formation; 6-Ore-bearing schistosity belt; 7-Uunconformity; 8- Measured and inferred fault; 9-Lead-zinc-silver ore block (ore body); 10-Suture line of old plate;
 11- Precambrian intermediate massifs; 12-Location of deposit

①河南省地质矿产勘查开发局第一地质质查院. 内蒙古东乌旗吉林宝力格矿区银矿详查报告. 2005:1-89.

II 和 III)^[10,19]。I 号矿脉带位于矿区北部,长 3200 m,宽 350~600 m,总体走向 305°,倾向南西,倾角 25°~55°,包括大小 50 条矿体,是矿区主要的矿带。II 号矿脉带位于矿区中部,长 1600 m,宽 100 m,走向 280°~300°,倾向南西,倾角 67°,工程控制有 6 条矿脉。III 号矿脉带位于矿区西南部,长 3500 m,宽 100~400 m,总体走向 300°,倾向西南。矿石品位,铅平均值为 2.12%,最高值为 11.39%;锌平均值为 3.06%,最高值为 19.53%;银平均值为 64.13×10^{-6} ,最高值为 327×10^{-6} 。

矿床围岩蚀变主要有黄铁矿化、硅化、绢云母化、绿泥石化、绿帘石化、碳酸盐化等。主要金属矿物有方铅矿、闪锌矿和黄铁矿,其次有毒砂、黄铜矿、辉铜矿、辉银矿等。脉石矿物有绿泥石、石英、高岭石、绢云母、方解石和萤石以及粘土矿物等。矿石中常见的结构有晶粒结构(自形、半自形和他形粒状)、包晶

结构、交代残余结构和碎裂结构等。主要矿石构造有块状构造、角砾状构造、浸染状构造、脉状构造等。

4.3 查干敖包砂卡岩型铁-锌矿床

查干敖包铁-锌矿床位于内乌里雅斯太镇北东 140 km。该矿床最早于 1958 年 7 月由原内蒙古地质局 126 队发现。矿床共获得全铁平均品位为 37.42% 的矿石量 1054 万 t,平均品位为 4.55% 的锌金属量为 35 万 t^②,铁和锌都达到中型规模。矿区范围内地层出露较差,主要见中奥陶统多宝山组大理岩和凝灰质板岩(图 4)。矿区断裂构造发育,分北西向和北东向两组且以北西向为主。岩浆岩主要有矿区东侧的查干敖包石英闪长岩岩体以及斑岩脉和闪长玢岩脉等,在石英闪长岩岩体与碳酸盐接触带附近形成砂卡岩。

矿区范围内已发现 34 条矿体。1 号主矿体走向长约 315 m,延深大于 425 m,矿体厚度 2.43~67.99

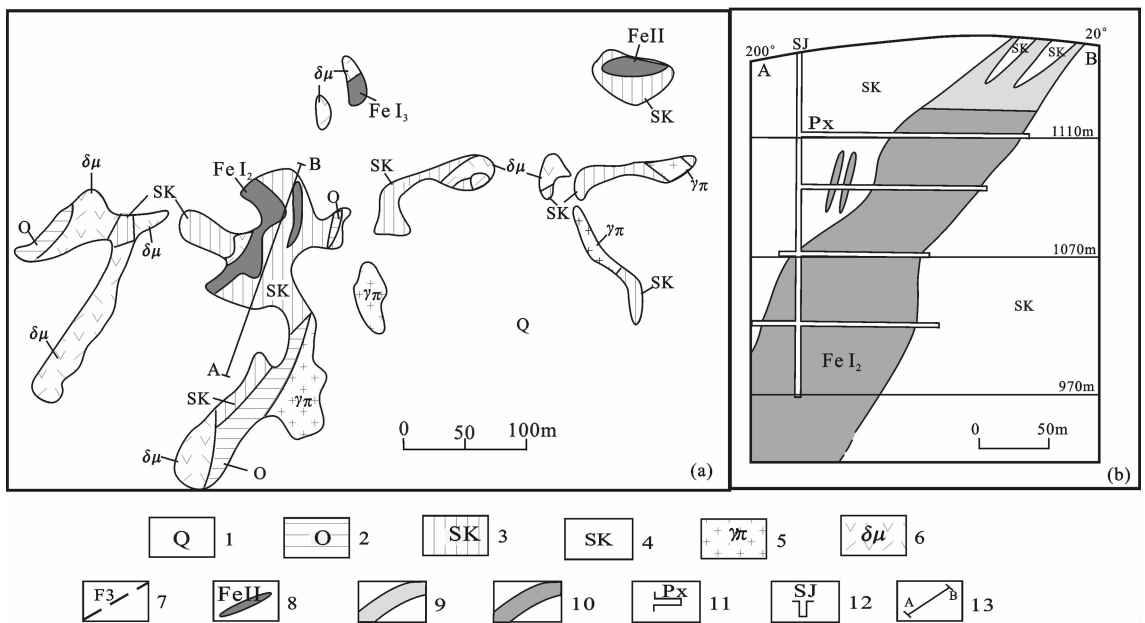


图 4 查干敖包铁-锌矿区地质简图(a)与 1 线剖面图(b)(根据②修改)

1—第四系;2—中奥陶统多宝山组大理岩和凝灰质板岩;3—4—砂卡岩;5—正长斑岩;6—闪长玢岩;7—推测断层;8—铁矿体及编号;9—氧化矿体;10—原生矿体;11—平巷;12—竖井;13—勘探线位置
Fig.4 Geological map of the Chagan Obo iron-zinc deposit and geological section along No. 1 exploration line (modified after②)

1—Quaternary; 2— Marble and tuffaceous slate of Middle Ordovician Duobaoshan Formation; 3, 4— Skarn; 5—Orthophyre; 6— Dioritic porphyrite; 7— Inferred fault;8—Iron ore body and its serial number; 9—Oxide ore body; 10— Native ore body; 11— Level; 12—Vertical shaft; 13— Location of exploration line

①中国冶金地质勘查工程总局第一地质勘查院.《内蒙古自治区东乌珠穆沁旗阿尔哈达矿区 I 号带 7~39 线铅锌矿详查报告》. 2005:1-103.
②内蒙古自治区矿产资源储量评审中心.《内蒙古自治区东乌旗查干敖包矿区铁-锌矿详查报告》矿产资源储量评审意见书. 2005:1-19.

m,平均 35 m,呈似层状、透镜状,走向 20°~40°,倾向北西,倾角 37°~70°,局部倾向南东。浅部(0~84 m)为氧化矿,均以铁为主;氧化带以下为原生矿。在原生矿中又可划分为铁矿石、锌矿石和铁-锌矿石三种矿石类型,并以铁-锌矿石为主。原生铁矿的 TFe 平均品位为 47.54%,Zn 平均品位 4.23%。

受接触变质作用影响,矿区内广泛发育矽卡岩化现象,在近石英闪长岩中发育钠长石化。此外,还可以见到硅化,地表及浅部褐铁矿化强烈。原生矿石中的主要金属矿物有磁铁矿、闪锌矿、镜铁矿和赤铁矿。主要的矿石结构有他形-半自形粒状结构、交代结构。主要的矿石构造有块状构造、角砾状构造、条带状构造、浸染状构造等。

4.4 朝不楞矽卡岩型铁多金属矿床

朝不楞铁多金属矿床位于乌里雅斯太镇北东 180 km 处,北距中蒙边境 19 km。该矿床是一座以铁、锌为主,兼含铋等 14 种元素的复合型多元素矿

床。至 2008 年,全矿区获得铁矿石量 2833 万 t、锌 63 万 t。此外还有铋、银、锡、钨、铜、金、铅、氧化钨、镓、硫和砷等。上述元素中,除锌达大型规模外,铁、铋、银、锡、钨和铜的储量均已达到中型规模,其余为小型。区内出露的地层主要为侏罗系上统布拉根哈达组中酸性火山岩,泥盆系中统塔尔巴特格组沉积岩,部分地段发育角岩化和矽卡岩化,矿体主要赋存于泥盆系中统沉积岩中(图 5)。矿区及外围海西期辉长岩和黑云母花岗岩分布广泛,并与铁多金属矿体具密切的空间分布关系。

朝不楞铁多金属矿体呈层状、扁豆状、条带状分布。矿体长度多为数十到百余米,个别可达 400 m;厚度一般为十几米,最厚处可达 34 m;倾斜延深为数米到几百米。全区品位:TFe 平均 32.83%,最高 65.7%;Zn 平均 4.45%,最高 37.2%。4 号矿体为本区最大的矿体,呈似层状,平均厚 15.30 m,矿体品位 TFe 16.4%~59%,平均 38.4%;Zn 0.37%~26.22%,平

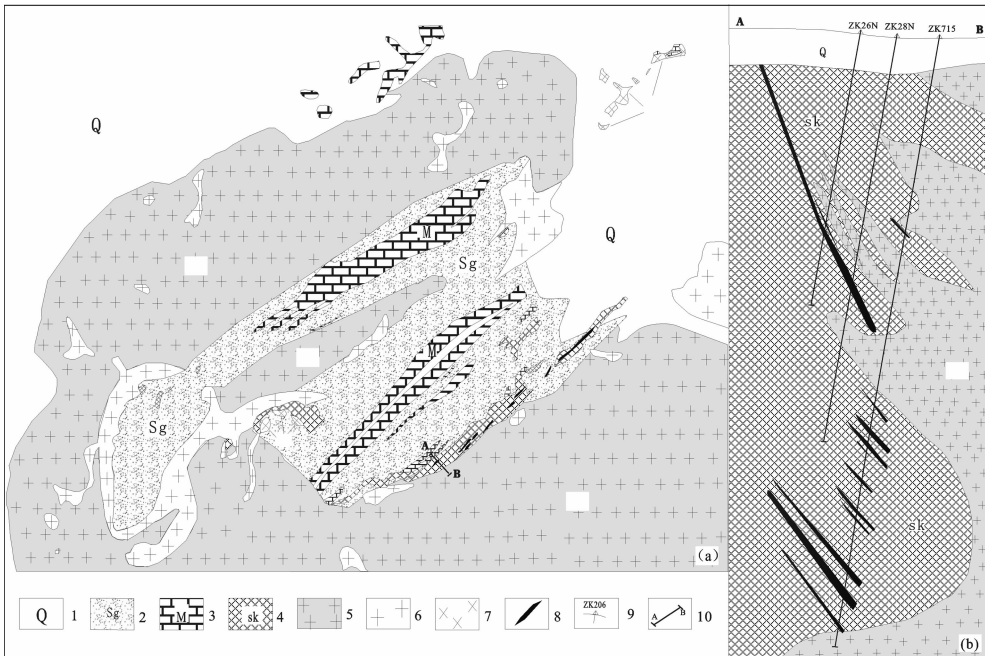


图 5 朝不楞铁多金属矿床地质简图(a)与剖面图(b)(根据脚注①修改)
 1—第四系;2—泥盆系砂砾岩;3—大理岩;4—矽卡岩;5—细粒花岗岩;6—中粗粒花岗岩;7—辉长岩;8—矿体;
 9—钻孔位置及编号;10—勘探线位置

Fig.5 Geological map of the Chaobuleng iron polymetallic deposit and geological section along the exploration line (modified after footnote①)

1—Quaternary; 2— Devonian glutenite; 3— Marble; 4— Skarn; 5— Fine-grained granite; 6— Middle coarse-grained granite; 7—Gabbro; 8— Ore body; 9—Location and serial number of drill hole; 10— Location of exploration line

①内蒙古兴业集团锡林矿业有限公司.《内蒙古自治区东乌珠穆沁旗朝不楞矿区南、北矿带铁锌多金属矿资源储量核实报告》.2008:1-127.

均为1.48%^①。

矿石以铁锌矿石为主,局部地方锌较富,锌在矿体顶底板品位较高。主要的金属矿物为磁铁矿、闪锌矿、黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿、辉铋矿、辉铋铅矿、自然铋等,脉石矿物有石榴子石、透辉石、绿帘石和石英等。矿石结构以他形粒状为主,其次为自形晶结构和固熔体分离结构等。矿石构造以浸染状、条带状、斑杂状、斑点状和致密块状为主,角砾状、脉状及细脉浸染状次之。

5 矿床成因

5.1 硫同位素

上述4个矿床不同产状的岩矿石中72件金属硫化物(包括黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、毒砂、辉钼矿)样品硫同位素分析结果(表1,图6)显示,硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 值大部分在+1‰~+8‰。硫同位素数据表明,无论是从单个矿床还是整体来看,该地区主要金属矿床的硫同位素主要以岩浆硫或地幔硫为主,混有少量沉积硫。

吉林宝力格银-金矿床15件硫化物(黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和黄铜矿)样品 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围较小且均为正值, $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为+2.3‰~+6.5‰,平均值为+4.10‰。

阿尔哈达铅-锌-银矿床20件硫化物(黄铁矿、方铅矿、闪锌矿和毒砂)样品的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为+1.2‰~+8.6‰,平均值为+6.03‰。通过计算共生硫化物结晶沉淀时的温度显示早期矿床形成温度为399℃和407℃,中期和晚期分别为287℃和194℃^[20]。

查干敖包铁-锌矿床矿石中的金属硫化物主要为闪锌矿,其余金属硫化物较少见,黄铁矿主要见于石英闪长岩中。两种硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值有明显区别,其中3件黄铁矿样品的 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值为+0.8‰,在岩浆成因硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值范围内。5件闪锌矿样品 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值为+10.3‰。

朝不楞铁多金属矿床不同成矿阶段23件硫化物(黄铁矿、辉钼矿、闪锌矿和方铅矿)样品 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为-1.7‰~+6.2‰,平均值为+2.18‰。

5.2 铅同位素

吉林宝力格银-金矿床的斑点板岩、二长花岗岩和金属硫化物的铅同位素比值都非常接近。其

$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的平均值分别为18.122、15.493和37.842(表2)。无论是 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 还是 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 都存在二长花岗岩<金属硫化物<斑点板岩的特征。在铅同位素构造模式图上(图7),所有样品投影点都落在地幔和上地壳演化线附近,且样品投影点具有线性排列特征、金属硫化物样品与部分钾长石样品重叠。这些特征一方面反映了铅来源于地幔源,与二长花岗岩具有密切联系;另一方面也不排除有地层铅的参与。

阿尔哈达铅-锌-银矿床矿石硫化物和围岩硫化物都富含放射性成因铅。17件矿石硫化物样品(方铅矿、闪锌矿、黄铁矿和毒砂) $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为18.271; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为15.464; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为37.873。3件围岩硫化物样品(黄铁矿) $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为18.288; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为15.477; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为37.893。7件凝灰岩样品 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为18.345; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为15.529; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为38.061。2件黑云母花岗岩中的钾长石样品 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为18.369; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为15.505; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为37.991(表2)。在铅同位素构造模式图上(图8),所有铅-锌-银矿石、凝灰岩、黑云母花岗岩和变质砂岩硫化物数据点呈线性排列,矿石与凝灰岩具有较大重叠,反映了成矿物质的来源与花岗岩类侵入岩体和火山-沉积岩地层有成因联系。

查干敖包铁-锌矿床5件闪锌矿样品的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为18.291; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为15.555; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为38.081。3件砂卡岩样品 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为18.273; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为15.502; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为37.932。2件闪长玢岩样品 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为18.368; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为15.53; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为38.179(表2)。在铅同位素构造模式图上(图9),除个别点(1件黄铁矿样品和1件闪锌矿样品)以外,其余投影点基本都落入地幔演化线附近且呈线性排列,表明它们的铅来源于相同的地幔源区。

朝不楞矿床铁多金属矿石中1件硫化物的样品 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为17.996; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为15.278; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为37.498。变质砂岩2件黄铁矿 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为18.498; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为15.709; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$

①内蒙古兴业集团锡林矿业有限公司.《内蒙古自治区东乌珠穆沁旗朝不楞矿区南、北矿带铁锌多金属矿资源储量核实报告》.2008:1-127.

表 1 大兴安岭南段西坡典型矿床硫同位素组成

Table 1 Sulfur isotopic compositions of typical deposits on the western slope of the southern section of the Da Hinggan Mountains

序号	样品编号	岩(矿)石	测试对象	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	矿床名称	资料来源
1	JL9	二长花岗岩	黄铁矿	2.3	吉林宝力格	本文
2	JL12	二长花岗岩	黄铁矿	5.8	吉林宝力格	本文
3	JL14	二长花岗岩	黄铁矿	3.6	吉林宝力格	本文
4	JL70-1	黄铁矿结核	黄铁矿	6.5	吉林宝力格	本文
5	JL30	角砾状矿石	黄铁矿	4.5	吉林宝力格	本文
6	JL34-2	条带状矿石	黄铁矿	3.1	吉林宝力格	本文
7	JL73	二中段矿石	黄铁矿	3.9	吉林宝力格	本文
8	JL77	五中段矿石	黄铁矿	5.2	吉林宝力格	本文
9	JL37	脉状黄铁矿	黄铁矿	4.6	吉林宝力格	本文
10	JL30	角砾状矿石	方铅矿	3.3	吉林宝力格	本文
11	JL34-2	条带状矿石	方铅矿	3.2	吉林宝力格	本文
12	JL30	角砾状矿石	闪锌矿	4.3	吉林宝力格	本文
13	JL34-2	条带状矿石	闪锌矿	4.7	吉林宝力格	本文
14	JL34-2	条带状矿石	闪锌矿	3.6	吉林宝力格	本文
15	JL30	角砾状矿石	黄铜矿	3.4	吉林宝力格	本文
16	CG7	石英闪长岩	黄铁矿	2.2	查干敖包	本文
17	CG6	矿石	黄铁矿	1.3	查干敖包	本文
18	CG2	矿石	黄铁矿	-1.2	查干敖包	本文
19	CG23-1	矿石	闪锌矿	12.4	查干敖包	本文
20	CG32	矿石	闪锌矿	8.9	查干敖包	本文
21	CG46-1	矿石	闪锌矿	9.9	查干敖包	本文
22	CG53	矿石	闪锌矿	10.1	查干敖包	本文
23	CG52	矿石	闪锌矿	10	查干敖包	本文
24	TW1	铅-锌-银矿石	方铅矿	1.2	阿尔哈达	[20]
25	TW4	铅-锌-银矿石	方铅矿	4.7	阿尔哈达	[20]
26	TW7	铅-锌-银矿石	方铅矿	5.3	阿尔哈达	[20]
27	TW8	铅-锌-银矿石	方铅矿	3.9	阿尔哈达	[20]
28	TW9	铅-锌-银矿石	方铅矿	4.2	阿尔哈达	[20]
29	TW11	铅-锌-银矿石	方铅矿	4.7	阿尔哈达	[20]
30	TW7	铅-锌-银矿石	闪锌矿	6.9	阿尔哈达	[20]
31	TW8	铅-锌-银矿石	闪锌矿	5.5	阿尔哈达	[20]
32	TW9	铅-锌-银矿石	闪锌矿	7.5	阿尔哈达	[20]
33	TW10	铅-锌-银矿石	闪锌矿	7.4	阿尔哈达	[20]
34	TW11	铅-锌-银矿石	闪锌矿	7	阿尔哈达	[20]
35	TW2	泥质板岩	黄铁矿	8.6	阿尔哈达	[20]
36	TW3	泥质板岩	黄铁矿	7	阿尔哈达	[20]
37	TW5	板岩	黄铁矿	7.2	阿尔哈达	[20]
38	TW8	铅-锌-银矿石	黄铁矿	6.1	阿尔哈达	[20]
39	TW9	铅-锌-银矿石	黄铁矿	6.6	阿尔哈达	[20]
40	TW10	铅-锌-银矿石	黄铁矿	7	阿尔哈达	[20]
41	TW4	铅-锌-银矿石	毒砂	6.8	阿尔哈达	[20]
42	TW 7	铅-锌-银矿石	毒砂	6.6	阿尔哈达	[20]

续表 1

序号	样品编号	岩(矿)石	测试对象	$\delta^{34}\text{S}/\%$	矿床名称	资料来源
43	TW11	铅-锌-银矿石	毒砂	6.4	阿尔哈达	[20]
44	CBLN01	矽卡岩	辉钼矿	2	朝不楞	[7]
45	CBLN03	矽卡岩	辉钼矿	1.5	朝不楞	[7]
46	CBLN04	矽卡岩	黄铁矿	-1.7	朝不楞	[7]
47	CBLN06	矽卡岩	黄铁矿	-0.8	朝不楞	[7]
48	CBLN07	矽卡岩	黄铁矿	-0.6	朝不楞	[7]
49	CBLN08	矽卡岩	黄铁矿	1.2	朝不楞	[7]
50	CBLN09	矽卡岩	黄铜矿	1.4	朝不楞	[7]
51	CBLN10	矽卡岩	辉钼矿	2.6	朝不楞	[7]
52	CBLN11	矽卡岩	辉钼矿	1.8	朝不楞	[7]
53	CBLN12	矽卡岩	黄铜矿	1.2	朝不楞	[7]
54	CBLN13	矽卡岩	黄铜矿	2.3	朝不楞	[7]
55	CBLN14	矽卡岩	闪锌矿	4.3	朝不楞	[7]
56	CBLN15	矽卡岩	闪锌矿	3.8	朝不楞	[7]
57	CBLN16	矽卡岩	方铅矿	2.5	朝不楞	[7]
58	CBLN17	矽卡岩	方铅矿	1.8	朝不楞	[7]
59	CBLN18	矽卡岩	黄铁矿	2.5	朝不楞	[7]
60	CBLN19	矽卡岩	黄铁矿	3.2	朝不楞	[7]
61	CBLN20	矽卡岩	方铅矿	1.6	朝不楞	[7]
62	CBLN21	矽卡岩	闪锌矿	4.5	朝不楞	[7]
63	CBLN22	矽卡岩	闪锌矿	6	朝不楞	[7]
64	CBLN23	矽卡岩	闪锌矿	3.8	朝不楞	[7]
65	CBLN24	矽卡岩	方铅矿	2.9	朝不楞	[7]
66	CBLN25	矽卡岩	黄铁矿	3.4	朝不楞	[7]
67	CBLN26	变质砂岩	黄铁矿	2.8	朝不楞	[7]
68	CBLN27	变质砂岩	黄铁矿	3.6	朝不楞	[7]
69	CBLN28	变质砂岩	黄铁矿	6.8	朝不楞	[7]
70	CBLN29	黑云母花岗岩	黄铁矿	-1.2	朝不楞	[7]
71	CBLN30	黑云母花岗岩	黄铁矿	-0.8	朝不楞	[7]
72	CBLN31	黑云母花岗岩	黄铁矿	2.4	朝不楞	[7]

注:本文数据由中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室分析。

^{204}Pb 平均值为 38.113。黑云母花岗岩 2 件黄铁矿样品 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为 18.122; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为 15.300; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 平均值为 37.501(表 2)。在铅同位素构造模式图上(图 10),变质砂岩中的黄铁矿投影点基本落入上地壳演化线附近,黑云母花岗岩中的黄铁矿和辉钼矿则显示幔源特征。

6 成矿规律讨论及结论

系统的野外地质调查和详细的室内综合性研究

结果表明,印支期是大兴安岭南段西坡大地构造演化的重要阶段,同时,也是各类金属矿床(点)成矿作用的重要时期,众多印支期花岗岩类侵入岩体内外接触带以及旁侧围岩中产出的铜、金、锡-铜和钨矿床(点)就是很好的例证。如白音宝力道金矿床(236 ± 0.5)Ma(绢云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素法)、巴彦哈尔金矿床(238 ± 3)Ma(绢云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素法)、毛登锡-铜矿床(215 ± 2.8)Ma(黑云母 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 同位素法)、沙麦钨矿床(214 ± 8)Ma(岩体锆石铀-铅同

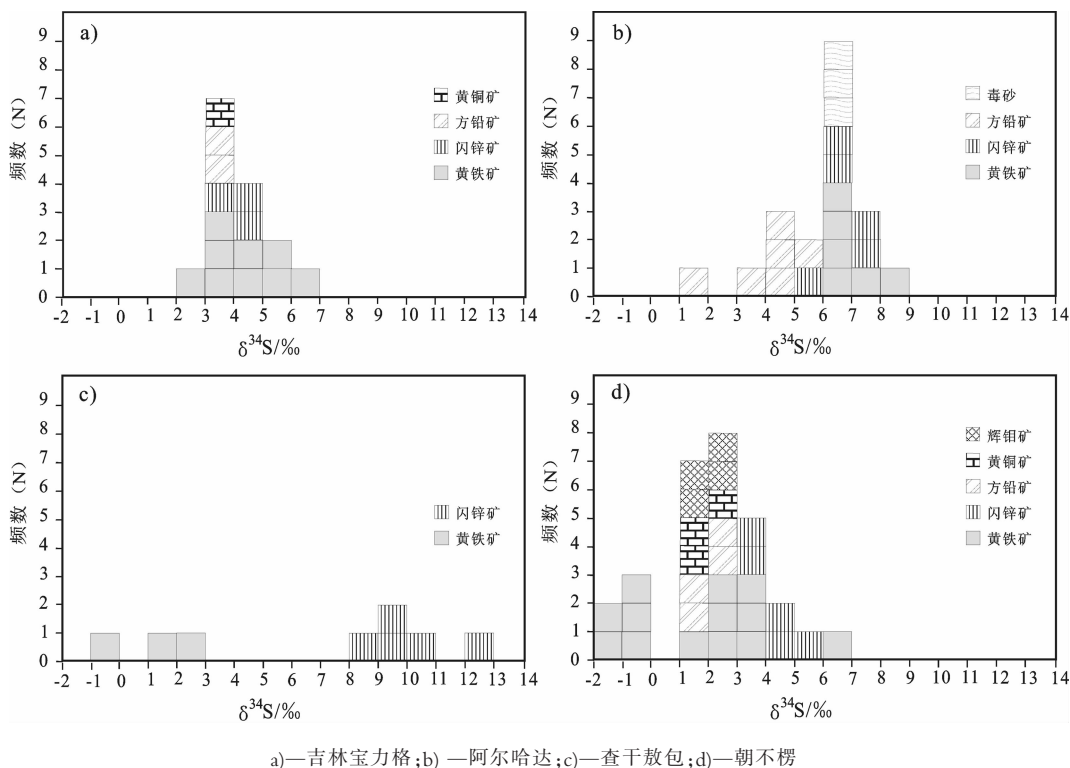


图 6 大兴安岭南段西坡典型矿床硫同位素组成直方图

Fig.6 Histogram of sulfur isotopic compositions of typical deposits on the western slope of the southern section of the Da Hinggan Mountains

位素法)^[7]、查干敖包铁-锌矿床 (237±5)Ma (SHRIMP U-Pb 法) 和阿尔哈达铅-锌-银矿床 (218±5)Ma (SHRIMP U-Pb 法)^[19]等。这些矿床大都呈大脉、细脉或线脉在花岗岩类侵入岩体内部或其围岩中产出。与前述 6 处金属矿床相比, 小坝梁铜-金矿床与富碱质辉绿岩脉群具有密切时空分布关系, 富碱质辉绿岩脉群全岩的铷-锶同位素等时线年龄值为 (242±31)Ma^[22]。此外, 如朝不楞铁多金属矿床的成矿年龄为 (140.7±1.8)Ma (Re-Os 法)^[22], 受燕山期岩浆活动影响。

如前所述, 区内金属矿床(点)分布广、类型多和成矿时代相对集中。统计结果显示, 在研究区内已发现的 23 处矿床(点)中, 有 11 个矿床(点)的赋矿地层为泥盆系, 占总矿床(点)数的 48%。在空间分布和矿床成因上, 大兴安岭南段西坡的矿床(点)具有以下特征: (1) 铜矿点主要分布于额仁高毕复式向斜的核部, 如准昂嘎尔铜矿点、乌兰陶勒盖小型铜矿床、额尔登陶勒盖铜矿点等; (2) 在白云呼布尔—满都宝力格大断裂(F3)和朝不楞西—乌拉盖断裂(F5)的交

汇部位, 或次生断裂上, 矿床(点)分布密集, 产出有朝不楞、查干敖包和曼特敖包等大中型矿床, 且朝不楞矿床与查干敖包矿床和曼特敖包矿床相对于断裂交汇点呈对称分布; (3) 容矿围岩主要为奥陶系、泥盆系和石炭系火山-沉积岩, 在中酸性岩体附近的碳酸盐岩往往形成矽卡岩带, 成为重要的容矿围岩; (4) 硫同位素结果显示, 大部分矿床金属硫化物的硫来源于岩浆硫, 四个矿床的铅同位素数据也反映了矿床铅一方面来源于地幔, 与岩浆岩具有密切联系, 另一方面也有地层铅的参与; (5) 区内断裂构造以北东向和北西向为主, 不同产出方位和不同性质的断裂对矿床的形成、改造等起着不同的作用。一般来说, 区内北东向和北西向的张性断裂为重要的导矿通道或容矿构造, 如吉林宝力格银-金矿导矿构造为北西向断裂, 容矿构造为北东向; 相比之下, 阿尔哈达铅-锌-银矿床矿体则赋存于北西向断裂中。这些断裂或与主干断裂平行, 或与主干断裂垂直, 它们都对本区矿床的形成起着或大或小的影响。

在大兴安岭中南段, 一般来说, 赋矿地层岩性控

表 2 大兴安岭南段西坡典型矿床铅同位素组成
Table 2 Lead isotope compositions of typical deposits on the western slope of the southern section of the Da Hingan Mountains

矿床名称	样品编号	测试对象	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	资料来源
吉林宝力格	JL-1	泥质板岩	18.468	15.518	38.420	本文
	JL-64		18.398	15.489	38.053	本文
	JL-65		18.355	15.486	38.018	本文
	JL-12		18.470	15.500	38.112	本文
	JL-14		18.370	15.520	38.053	本文
	JL9	钾长石	18.101	15.486	37.903	本文
	JL20		17.987	15.467	37.762	本文
	JL54		18.143	15.512	37.830	本文
	JL59		18.178	15.504	37.865	本文
	JL60		18.199	15.495	37.852	本文
	JL30	方铅矿	18.219	15.479	37.853	本文
	JL34-2		18.236	15.511	37.952	本文
	JL30	黄铜矿	18.238	15.508	37.925	本文
	JL34-2		18.214	15.487	37.844	本文
	JL34-2	闪锌矿	18.220	15.497	37.902	本文
	JL30		18.228	15.492	37.896	本文
	JL30	黄铁矿	18.210	15.471	37.821	本文
	JL34-2		18.204	15.473	37.814	本文
	JL37		18.217	15.515	37.998	本文
	JL70-1		18.172	15.479	37.808	本文
JL73	18.252		15.497	37.917	本文	
JL77	18.206		15.469	37.823	本文	
查干敖包	CG23-1	闪锌矿	18.240	15.495	37.922	本文
	CG32		18.288	15.534	37.988	本文
	CG46-1		18.255	15.504	37.919	本文
	CG52		18.238	15.551	38.113	本文
	CG53		18.430	15.691	38.460	本文
	CG20	矽卡岩	18.260	15.495	37.884	本文
	CG21		18.255	15.504	37.921	本文
	CG33		18.303	15.508	37.991	本文
	CG14	闪长玢岩	18.323	15.530	38.160	本文
	CG17		18.413	15.544	38.198	本文
	CG2	黄铁矿	17.949	15.518	38.165	本文
	CG6		18.221	15.485	37.875	本文
	CG7		18.287	15.515	38.042	本文
	CG6	石英闪长岩	18.333	15.484	38.052	本文
	CG8		18.433	15.499	38.147	本文
CG2	钾长石	18.335	15.512	38.120	本文	
CG5		18.246	15.500	37.991	本文	
CG6		18.381	15.523	38.108	本文	
CG8		18.529	15.529	38.085	本文	
CG3		18.172	15.465	37.831	本文	
CG7		18.220	15.488	37.961	本文	

续表 2

矿床名称	样品编号	测试对象	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	资料来源
阿尔哈达	TW1	方铅矿	18.316	15.499	37.954	[20]
	TW4		18.295	15.479	37.899	[20]
	TW7		18.190	15.391	37.693	[20]
	TW8		18.415	15.585	38.161	[20]
	TW9		18.187	15.393	37.705	[20]
	TW11		18.415	15.593	38.211	[20]
	TW7	闪锌矿	18.187	15.385	37.672	[20]
	TW8		18.174	15.384	37.673	[20]
	TW9		18.198	15.409	37.755	[20]
	TW10		18.431	15.602	38.213	[20]
	TW11		18.317	15.500	37.962	[20]
	TW4	毒砂	18.258	15.454	37.842	[20]
	TW7		18.297	15.480	37.898	[20]
	TW11		18.427	15.594	38.191	[20]
	TW8	黄铁矿	18.153	15.370	37.673	[20]
	TW9		18.181	15.387	37.689	[20]
	TW10		18.174	15.379	37.653	[20]
	TW2		18.281	15.470	37.874	[20]
	TW3		18.293	15.484	37.909	[20]
	TW5		18.291	15.478	37.896	[20]
	AR3	凝灰岩	18.366	15.535	38.092	[20]
	AR5		18.348	15.541	38.095	[20]
	AR6		18.349	15.516	38.035	[20]
	AR7		18.325	15.510	37.997	[20]
	AR28		18.320	15.505	37.983	[20]
	AR33		18.333	15.515	38.010	[20]
	AR48		18.370	15.578	38.217	[20]
AR11	花岗岩中钾长石	18.297	15.500	37.946	[20]	
AR12		18.440	15.510	38.037	[20]	
朝不楞	CBLQ09	变质砂岩中黄铁矿	18.495	15.703	38.103	[7]
	CBLQ10		18.501	15.716	38.122	[7]
	CBLQ13	黑云母花岗岩中黄铁矿	18.124	15.301	37.502	[7]
	CBLQ12		18.120	15.298	37.500	[7]
	CBLQ11	黑云母花岗岩中辉钼矿	17.996	15.278	37.498	[7]

注:本文数据由核工业北京地质研究院分析测试研究中心分析。

制矿床类型,当酸性、中酸性岩浆侵入于碳酸盐岩中时,则形成矽卡岩型矿床,如黄岗矽卡岩型锡矿床、白音诺和浩布高矽卡岩型铅-锌矿床;当酸性、中酸性岩浆侵入于砂岩、板岩等时,则形成热液脉型或斑岩型矿床,如大井银铜锡矿床和敖瑙达巴锡银铜矿床^[2]。本区也有相似的规律,如查干敖包岩体和朝不楞岩体侵入于碳酸盐岩中,在岩体内外接触带形成了查干敖包、曼特敖包、朝不楞等矽卡岩型矿床;在吉林宝力格和阿尔哈达等地区,因缺少碳酸盐地层,

则在合适的构造部位(北东向或北西向)形成了热液脉型矿床。因此,地层、构造、岩浆岩控制了本区的成矿为矽卡岩型和低温热液型两种类型。

比较而言,大兴安岭北段以金、铜、钼、铅、锌、铁等多金属成矿为主,目前已发现了得尔布尔大型铅锌矿床、三河大型铅锌矿床、小伊诺盖沟金矿床、砂宝斯金矿床、四五牧场金矿床及众多多金属矿(化)点,且著名的俄—蒙多金属成矿带北东向延入大兴安岭北段,大兴安岭北段大地构造位置处在华北板

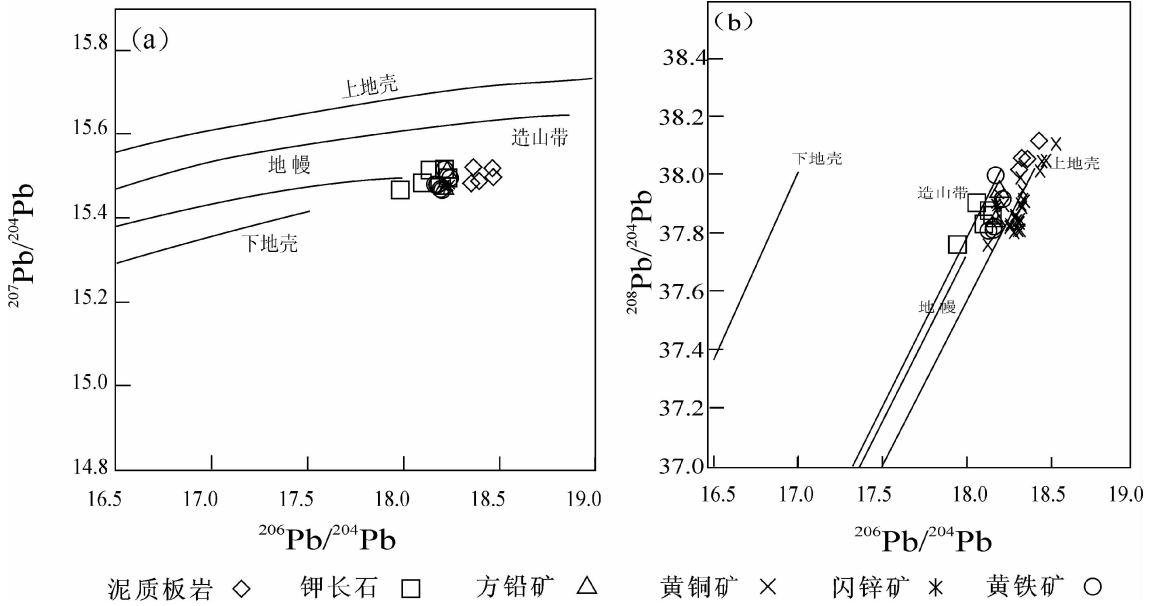


图 7 吉林宝力格银-金矿床硫化物 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (a) 和 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (b) 图解(底图据文献[21])
 Fig.7 Plot of $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (a) and $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (b) of sulfide from the Jilin Baolige silver-gold deposit on the western slope of the southern section of the Da Hinggan Mountains

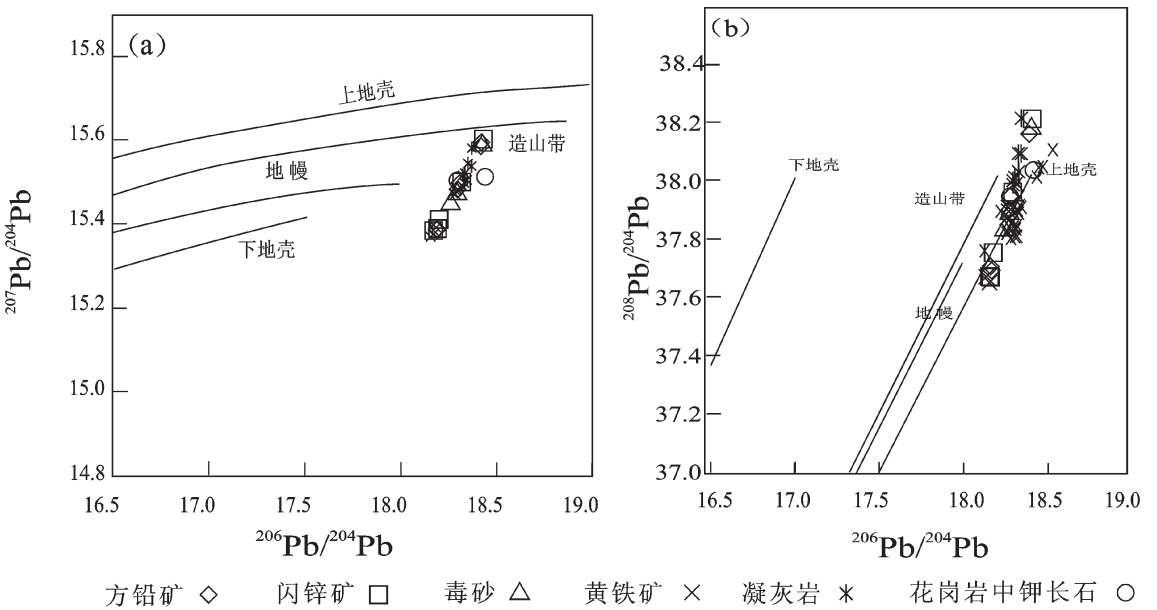


图 8 阿尔哈达铅锌银矿床硫化物 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (a) 和 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (b) 图解(底图据文献[21])
 Fig.8 Plot of $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (a) and $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (b) of sulfide from the Arehada lead-zinc-silver deposit on the western slope of the southern section of the Da Hinggan Mountains

块和西伯利亚板块之间^[24]。与南段一样受断裂影响,得尔布干断裂带及其两侧伴生的一系列断裂构造控制了该地区的火山-岩浆活动及其成矿作用。火山活动主要集中在晚三叠世—中侏罗世和晚侏罗世—

早白垩世中期两个主要阶段。中生代岩浆侵入活动集中发育在印支期和燕山晚期。北段金、多金属矿床的形成同样严格受区域性断裂构造(带)控制,且大兴安岭北段典型矿床类型以岩浆热液型和火山-次

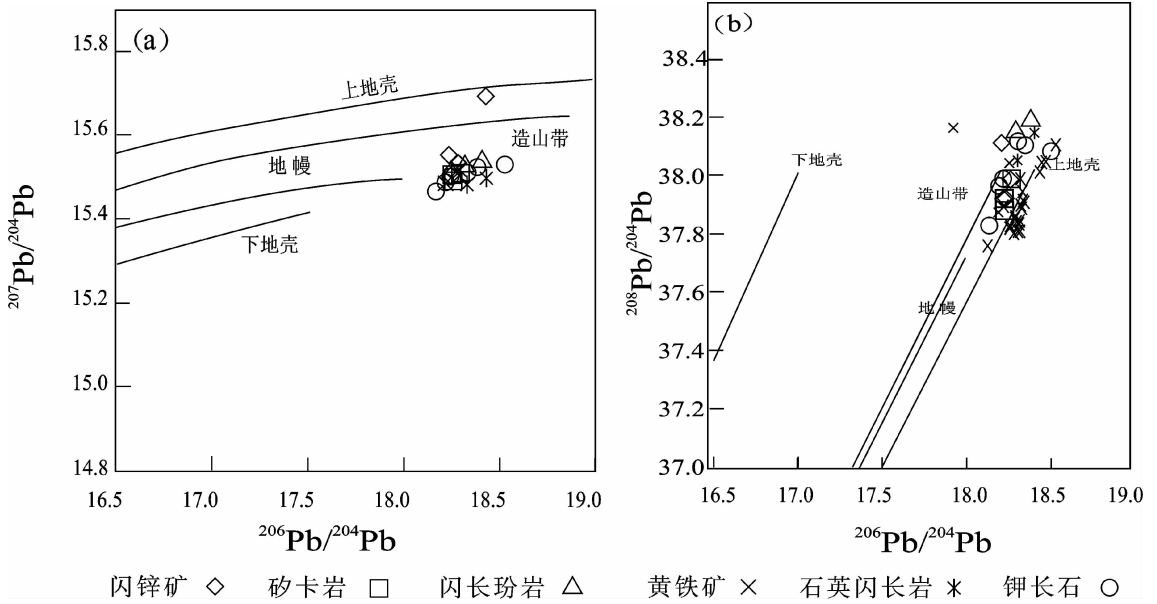


图9 查干敖包铁锌矿床硫化物 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (a) 和 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (b) 图解(底图据文献[21])

Fig.9 Plot of $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (a) and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (b) of sulfide from the Chagan Obo iron-zinc deposit on the western slope of the southern section of the Da Hinggan Mountains

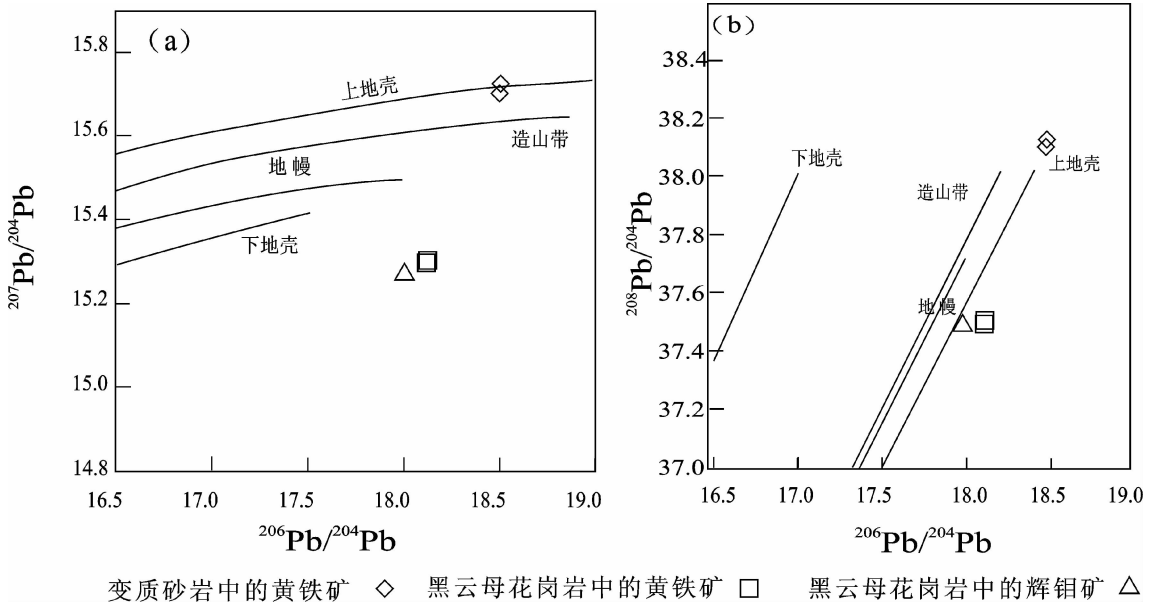


图10 朝不楞铁多金属矿床硫化物 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (a) 和 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (b) 图解(底图据文献[21])

Fig.10 Plot of $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (a) and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (b) of sulfide from the Chaobuleng iron polymetallic deposit on the western slope of the southern section of the Da Hinggan Mountains

火山热液型为主。

综上所述,印支期是大兴安岭南段西坡大地构造演化的重要阶段,也是各类金属矿床(点)成矿作用的重要时期。区内北东向和北西向的张性断裂为重要的导矿通道或容矿构造。地层、构造、岩浆岩控

制了本区的矿床类型为矽卡岩型和中低温热液型两种。硫、铅同位素结果显示,大部分矿床金属硫化物的硫来源于岩浆硫并有少量沉积成因硫的混合。结合大地构造背景可以推断,强烈的构造-岩浆活动,在大兴安岭南段西坡一带的晚古生代裂隙槽内,晚

泥盆世火山-沉积作用不仅形成有很厚的火山-沉积岩层,同时产出一系列的铅-锌-银矿体。在成矿作用早期随着海陆相火山活动和沉积作用的交替进行,部分铅、锌、银、硫和铅及其他成矿组分可随火山碎屑、火山灰和热液流体进入特定的盆地沉淀下来,形成具有工业价值的铅-锌-银矿石或铅-锌-银矿胚(或矿源层),同时或稍晚时候,花岗岩类岩浆的侵位活动同样为铅-锌-银矿床的形成提供了物质和热力来源。在构造背景、矿床成因等方面,与大兴安岭北段成矿带存在着一定的差异性,这也是导致南、北段成矿元素差异性的原因。

致谢: 在野外工作期间得到内蒙古兴业集团温银维总工程师的热情帮助,盛继福研究员及其他审稿人对本文提出了宝贵的修改意见,中国地质大学(北京)硕士研究生卢伟同学编制了部分图件,在此表示衷心的感谢。

参考文献(References):

- [1] 任纪舜. 论中国大陆岩石圈构造的基本特征 [J]. 中国区域地质, 1991, 4: 289-293.
Ren Jishun. The basic characteristics of the tectonic evolution of the continental lithosphere in China [J]. Regional Geology of China, 1991, 4: 289-293(in Chinese with English abstract).
- [2] 赵一鸣, 王大畏, 张德全, 等. 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, 1994:1-234.
Zhao Yiming, Wang Dawei, Zhang Dequan. Geological Setting and Exploration Model for the Polymetallic Deposits Occurring in the Southeastern Part of Inner Mongolia [M]. Beijing: Seismological Press, 1994:1-234 (in Chinese with English abstract).
- [3] 洪大卫, 王式洸, 谢锡林, 等. 试析地幔来源物质成矿域—以中亚造山带为例[J]. 矿床地质, 2003, 22(1): 41-55.
Hong Dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin, et al. Metallogenic province derived from mantle sources: A case study of central asian orogenic belt[J]. Mineral Deposits, 2003, 22(1):41-55(in Chinese with English abstract).
- [4] 聂凤军, 江思宏, 张义, 等. 中蒙边境及邻区斑岩型铜矿床地质特征及成因[J]. 矿床地质, 2004, 23(2): 176-189.
Nie Fengjun, Jiang Sihong, Zhang Yi, et al. Geological features and origin of porphyry copper deposits in China-Mongolia border region and its neighboring area [J]. Mineral deposits, 2004, 23(2): 176-189(in chinese with english abstract).
- [5] 金岩, 刘玉堂, 谢玉玲. 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, 2005, 1:8-12.
Jin Yan, Liu Yutang, Xie Yuling. Relationship between magmatism and polymetal mineralization in Dongwuqi area, Inner Mongolia[J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2005, 1:8-12(in Chinese with English abstract).
- [6] 盛继福, 傅先政, 等. 大兴安岭中段成矿环境与铜多金属矿床地质特征[M]. 北京:地震出版社, 1999:1-216.
Sheng Jifu, Fu Xianzheng, et al. Metallogenic Environment and Copper-polymetallic Deposits in Middle Da Hinggan Mts [M]. Beijing: Seismological Press, 1999:1-216 (in Chinese with English abstract).
- [7] 聂凤军, 江思宏, 白大明, 等. 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, 2007:1-574.
Nie Fengjun, Jiang Sihong, Bai Daming, et al. Metallogenic Studies and Prospecting Orientation in Central and Eastern Segment along China-Mongolia Border[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007:1-574(in Chinese with English abstract).
- [8] 王守光, 黄占起, 苏新旭, 等. 一条值得重视的跨国境成矿带—南戈壁—东乌旗多金属成矿带[J]. 地学前缘, 2004, 11(1):249-255.
Wang Shouguang, Huang Zhanqi, Su Xinxu, et al. A notable metallogenic belt striding across the border between China and Mongolia -South Gobi -Dongwuqi copper-polymetallic metallogenic belt[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(1): 249-255 (in Chinese with English abstract).
- [9] 田继勋. 内蒙古东乌旗达赛脱铅锌矿的控矿构造 [J]. 地质找矿论丛, 2005, 20(增刊):102-105.
Tian Jixun. Ore-controlling structures in Dasaituo Pb-Zn camp, Dong Ujimqin Banner [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2005, 20 (supp.):102-105 (in Chinese with English abstract).
- [10] 高群学, 钱明. 内蒙古东乌旗阿尔哈达银铅锌矿区地质、物化探特征及其找矿意义[J]. 地质找矿论丛, 2005, 20(supp.): 95-99.
Gao Qunxue, Qian Ming. Geological, geophysical and geochemical exploration characteristics and their ore-searching significance in Arhada Ag-Pb-Zn camp, Dong Ujimqin Banner[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources, 2005, 20 (supp.), 95-99(in Chinese with English abstract).
- [11] 钱明, 高群学. 内蒙古东乌旗阿尔哈达铅锌矿区矿床成因探讨[J]. 地质找矿论丛, 2006, 21(增刊): 70-73.
Qian Ming, Gao Qunxue. The discussion about genesis of Arhada lead & zinc deposit in Dongwuqi county, Inner Mongolia, China [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources, 2006, 21 (supp.):70-73(in Chinese with English abstract).
- [12] 江和中, 刘国范, 刘伟芳. 内蒙古吉林宝力格银矿床地质特征及找矿标志[J]. 华南地质与矿产, 2007, 4:9-13.
Jiang Hezhong, Liu Guofan, Liu Weifang. Geological characteristics and mineral resource prospecting of Jilinbaolige silver deposit, Inner Mongolia [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2007, 4: 9-13(in Chinese with English abstract).
- [13] 张万益, 聂凤军, 江思宏, 等. 内蒙古查干敖包石英闪长岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义 [J]. 岩石矿物学杂志, 2008, 27(3):177-184.
Zhang Wanyi, Nie Fengjun, Jiang Sihong, et al. Zircon SHRIMP U-Pb age of quartz diorite in Qagan Obo of Inner Mongolia and its geological significance [J]. Acta Petrologica et Mineralogica,

- 2008, 27(3):177-184(in Chinese with English abstract).
- [14] 王建平. 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, 2003, 17(2):132-135.
Wang Jianping. Metallogeny of Dongwu Banner copper and silver polymetallic ore zone of Inner Mongolia [J]. Mineral Resources and Geology, 2003, 17 (2):132-135(in Chinese with English abstract).
- [15] 洪大卫, 王式洸, 谢锡林, 等. 兴安造山带正 ϵ (Nd,t)值花岗岩的成因和大陆地壳生长[J]. 地学前缘, 2000, 7(2):441-456.
Hong Dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin, et al. Genesis of positive ϵ (Nd,t) granitoids in the Da Hinggan Mts.-Mongolia orogenic belt and growth continental crust[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(2):441-456.
- [16] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1991:1-725.
Geological and Mineral Bureau of Inner Mongolia Autonomous Region. Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous Region [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1991:1-725(in Chinese with English abstract).
- [17] 聂秀兰, 侯万荣. 内蒙古迪彦钦阿木大型钼-银矿床的发现及地质意义[J]. 地球学报, 2010, 31(3):469-472.
Nie Xiulan, Hou Wanrong. The discovery of the Diyanqinamu large -Size Mo -Ag deposit, Inner Mongolia, and its geological significance[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2010, 31 (3):469-472(in Chinese with English abstract).
- [18] 张万益, 聂凤军, 刘妍, 等. 内蒙古东乌旗吉林宝力格银(金)矿床地质特征及成因探讨[J]. 矿物学报, 2007, 27(增刊):178-180.
Zhang Wanyi, Nie Fengjun, Liu Yan, et al. Geological character and genesis of Jilinbaolige Silver-gold deposit in Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2007, 27 (supp.):178-180(in Chinese with English abstract).
- [19] 夏广清. 内蒙古东乌旗地区土壤地球化学测量及找矿效果[J]. 矿产与地质, 2005, 19(6):634-639.
Xia Guangqing. Soil geochemical exploration and its effect in Dongwuqi, Inner Mongolia [J]. Mineral Resources and Geology, 2005,19(6):634-639(in Chinese with English abstract).
- [20] 张万益, 聂凤军, 刘妍, 等. 内蒙古东乌旗阿尔哈达铅-锌-银矿床硫和铅同位素研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(5):868-883.
Zhang Wanyi, Nie Fengjun, Liu Yan, et al. Studies on sulfur and lead isotope of the Arehada Pb-Zn-Ag deposit, Dong Ujimqin Qi (County),Inner Mongolia [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(5):868-883(in Chinese with English abstract).
- [21] Zartman R E, Doe B R. Plumbotectonics—the model [J]. Tectonophysics, 1981, 75 :135-62.
- [22] 张德全, 刘勇, 李大新. 大兴安岭地区与铜多金属有关的侵入岩[C]//赵一鸣. 大兴安岭及邻区铜多金属矿床论文集. 北京:地震出版社, 1993:50-64.
Zhang Dequan, Liu Yong, Li Daxin. Intrusive rocks related to copper-polymetallic ore in Da Hinggan Mts [C]//Zhao Yiming (eds.). Colloquia on Copper-Polymetallic Deposits in the Da Hinggan Mts. and Its Adjacent Regions. Beijing:Seismological Press, 1993:50-64(in Chinese with English abstract).
- [23] 聂凤军, 张万益, 杜安道, 等. 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, 2007, 28(4):315-323.
Nie Fengjun, Zhang Wanyi, Du Andao, et al. Re-Os Isotopic age dating of molybdenite separates from the Chaobuleng Skarn Iron-Polymetallic Deposit, Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2007, 28 (4):315-323 (in Chinese with English abstract).
- [24] 邵军, 王世称, 马晓龙, 等. 大兴安岭北段金、多金属矿床区域成矿特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2003, 33(1):32-36.
Shao Jun, Wang Shicheng, Ma Xiaolong, et al. Regional metallogenetic characteristics of gold and multimetal deposits in northern Daxing'anling mountain [J]. Journal of Jilin University (earth science edition), 2003, 33(1):32-36(in Chinese with English abstract).

Characteristics and metallogenic regularities of ore deposits on the western slope of the southern section of the Da Hinggan Mountains metallogenic belt

ZHANG Wan-Yi^{1,2}, NIE Feng-Jun³, LIU Shu-wen²,
ZUO Li-Yan², SHAN Liang², YAO Xiao-Feng²

(1.School of Earth and Space Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2.Development Research Center, China Geological Survey, Beijing 100037, China; 3.Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China)

Abstract: Located in Chagan Obo-Aououte-Chaobuleng area along the southern edge of the Siberian plate, the study area on the western slope of the southern section of the Da Hinggan Mountains metallogenic belt (northern Dong Ujimqin Banner of Inner Mongolia) is controlled by multiple subduction, collision and connection of North China platform, and characterized by widely exposed Paleozoic volcanic-sedimentary rocks, complex structures, all kinds of intense magmatic activities, and widespread ore deposits and ore spots. The study area has special favorable geological structure and setting for mineralization. On the basis of geological survey, the authors studied geological features of ore deposits and genesis of typical deposits, and summarized metallogenic regularities of this area. The results show that there are many kinds of ore deposits such as iron, silver, copper, lead, zinc, gold, and molybdenum. The $\delta^{34}\text{S}$ values of typical deposits vary from +1‰ to +8.6‰. The sulfur isotope compositions show different sources. The $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ratios of different samples vary in ranges of 17.949~18.529, 15.370~15.691 and 37.653~38.460, respectively. The lead isotope compositions indicate that the sources of lead were wall rocks and granites. The main types of ore deposits were skarn deposits and medium-low temperature hydrothermal deposits, which were significantly affected by formation, structure and magma. In general, the wall rocks of metal deposits were Ordovician, Devonian and Carboniferous volcanic-sedimentary rocks. Skarn deposits were formed near the contact zone between the carbonate and granite, while medium-low temperature hydrothermal deposits were formed in argillite and sandstone without carbonate. NE- and NW-trending faults were important ore channels or places for ore storage. The regional ore deposits in the study area were formed in three periods, i.e. Hercynian, Indosinian and Yanshanian. They were closely related to granite intrusions in temporal and spatial distribution.

Key words: copper lead zinc ores; iron ores; metallogenic regularities; sulfur and lead isotope; Da Hinggan Mountains; Inner Mongolia

About the first author: ZHANG Wan-yi, male, born in 1974, doctor, senior engineer, majors in mineral exploration and mineral deposits; E-mail: wanyizhang0810@qq.com.