

张家口梁家沟铅锌银矿床 Rb-Sr 和 Sm-Nd 等时线年龄及其地质意义

李随民¹ 魏明辉² 李森文² 李紫焯¹ 李玉红² 韩玉丑³ 李永峰³

(1. 石家庄经济学院, 河北 石家庄 050031; 2. 河北省地矿局第三地质大队, 河北 张家口 075000;
3. 河北省地矿局, 河北 石家庄 050081)

摘要: 张家口南部中—新元古代碳酸盐岩地层发育, 赤城县梁家沟铅锌银多金属矿床产于中元古代蓟县系雾迷山组地层中, 为目前在张家口南部碳酸盐岩沉积盖层中发现的典型多金属矿床。由于缺少成矿时代数据, 对该类型矿床的成因长期以来存在同生沉积和后生改造两方面的争议。本文利用单矿物闪锌矿和闪锌矿与黄铁矿共生硫化物组合采用 Rb-Sr 等时线法测定梁家沟矿床的成矿时代分别为 126 Ma 和 130.7 Ma; 利用单矿物闪锌矿和闪锌矿与黄铁矿共生硫化物组合采用 Sm-Nd 等时线法测得成矿时代分别为 130.5 Ma 和 131 Ma。两种方法测定的成矿时代十分接近, 结合张家口区域地质背景, 表明张家口南部碳酸盐岩地层中的多金属矿床为燕山期构造运动时期热液活动的产物。

关键词: 铅锌银多金属矿床; 成矿时代; Rb-Sr 年龄; Sm-Nd 年龄; 梁家沟

中图分类号: P618.4; P597 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2014)02-0529-11

张家口地区以东西向尚义—赤城深大断裂带为界, 包括 2 个 II 级构造单元, 断裂以北为内蒙地轴, 南部为燕山台褶带。北部出露地层主要为古元古代红旗营子群变质结晶基底和燕山期火山岩, 以缺失中—新元古代—古生代沉积盖层为特征。南部出露地层主要为新太古代桑干群变质结晶基底和中—新元古代碳酸盐岩盖层。目前已发现的蔡家营、青羊沟等大、中型铅锌矿均位于北部的内蒙地轴中。目前虽在南部燕山台褶带中—新元古代沉积盖层中发现了一些小型铅锌矿床或矿(化)点, 但对矿床成矿时代、成矿物质来源等基础地质问题均未进行系统深入的分析研究, 致使长期以来该区域铅锌银多金属找矿工作未取得突破性进展。

梁家沟铅锌银多金属矿床位于赤城县样田乡, 大地构造位置属于燕山台褶带。矿体呈层状、似层状产于中元古代蓟县系雾迷山组白云岩中。以往

的研究均认为属于沉积—改造型矿床^[1-2], 由于缺少矿床形成时代测试数据, 该类型矿床是否与白云岩为同生沉积一直以来未得到解决。本文根据梁家沟矿石中共生硫化物, 采用 Rb-Sr、Sm-Nd 等时线法测试了硫化物形成时代, 认为梁家沟铅锌银多金属矿床的成矿时代为燕山期。该结论为矿床成因类型的厘定提供理论依据。

1 区域地质背景

1.1 地层

矿区及外围出露的地层有太古界桑干群, 红旗营子群变质岩系; 元古界蓟县系、青白口系沉积岩和中生界侏罗系中统河、湖相沉积岩及新生界第四系松散堆积物等(图 1)。桑干群和红旗营子群变质岩系主要分布于矿区以北, 与赤城县北部地区大片变质岩系相连接, 主要岩性为黑云斜长片麻岩、黑

收稿日期: 2013-08-10; 改回日期: 2014-02-27

基金项目: 河北省国土资源厅基金项目(2012055548、2013045650)联合资助。

作者简介: 李随民, 男, 1971 年生, 博士, 教授, 主要从事矿床学方面的教学和研究工作; E-mail: smli71@163.com。

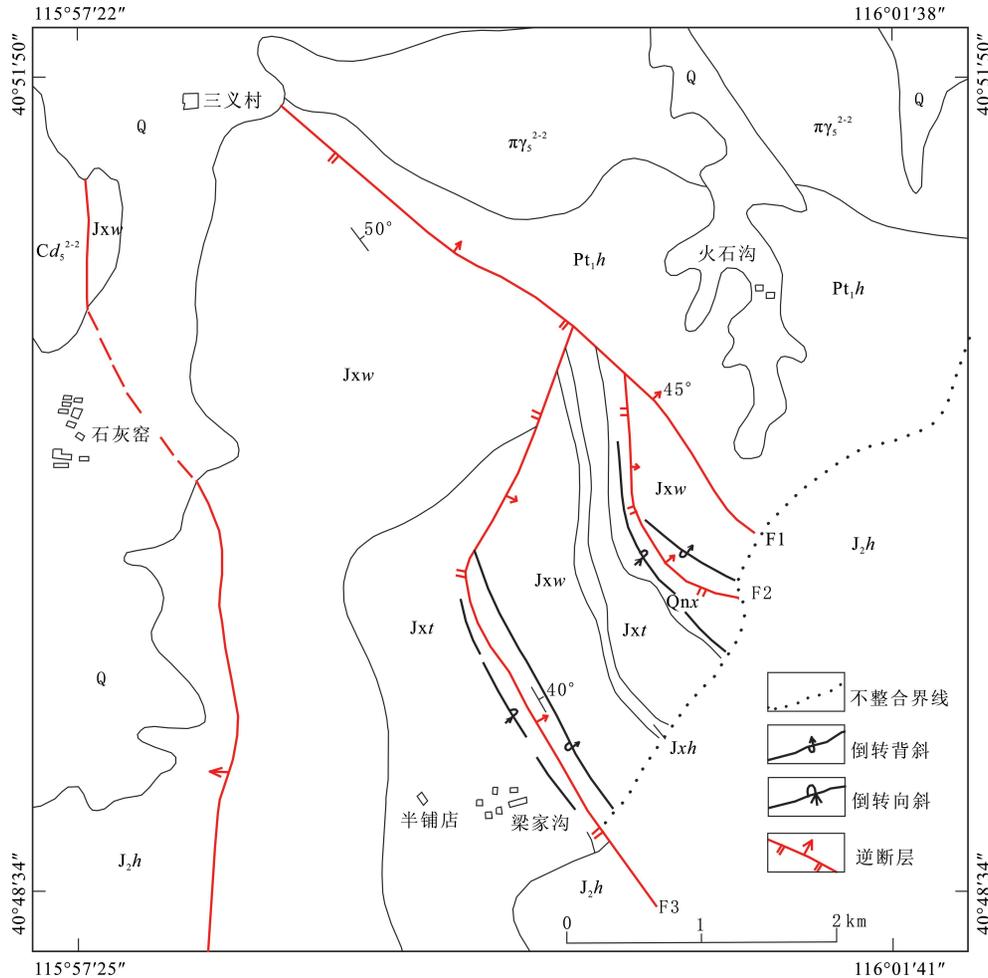


图1 梁家沟矿区区域地质图

Q—第四纪;J₂h—后城组;Qnx—下马岭组;Jxt—铁岭组;Jxh—洪水庄;Jxw—雾迷山组;Pt₁h—红旗营子群;
πγ_s²⁻²—燕山期斑状花岗岩;cd_s²⁻²—燕山期次安山岩

Fig.1 Regional geological map of the Liangiagou ore district

Q—Quaternary; J₂h—Jurassic Houcheng Formation; Qnx—Xiamaling Formation of Qingbaikou Period; Jxt—Tieling Formation of Jixian System; Jxh—Hongshuizhuang Formation of Jixian System; Jxw—Wumishan Formation of Jixian System; Pt₁h—Palaeoproterozoic Hongqiyinzi Group; πγ_s²⁻²—Yanshanian porphyritic granite; cd_s²⁻²—Yanshanian Subandesite

云角闪斜长片麻岩及含石榴斜长角闪变粒岩等。区域产状为NW走向,倾向NE,倾角25°~70°。元古代地层主要由蓟县系和青白口系组成。其中,蓟县系地层组成如下:

(1)雾迷山组(Jxw):为厚层,顶部为中薄层燧石条带白云岩,与大区域雾迷山组地层对比,含矿层位相当于雾迷山组上部。该组地层主要分布于矿区以西,矿区内由于断层的关系致使雾迷山组地层两次重复出露,区域地层走向为NNW-NW、倾向NE,倾角20°~40°。该组地层是直接的赋矿层位。

(2)洪水庄组(Jxh):分布于矿区及矿区以西,主要岩性为黑色页岩夹薄层砂质白云岩。产状稳定,走向为NW 20°~0°,倾向NE,倾角30°~45°。厚度40余米。由于断层的影响,该组地层在矿区及矿区以西重复出现2次。

(3)铁岭组(Jxt):分布于矿区以西及矿区以北,由于断层的缘故也是两次重复出现。下部为中厚层含燧石结核的白云岩;上部为薄层白云岩。产状稳定,走向NNW,倾向NE,倾角30°~40°。厚度约400 m。

青白口系主要出露下马岭组(Qnx)地层,该组分

布于矿区南西,由于断层的缘故2次重复出现。主要为灰绿色、杂色页岩,下部含铁质结核,底部有一层厚1~2 m的褐铁矿层。产状为走向NNW,倾向NE,倾角30°~40°,局部产状零乱,小型褶皱、断裂发育。

本区中生界主要为侏罗系中统后城组(J₂h),分布矿区以东及以西。东部岩性自下而上为底砾岩,由凝灰质胶结燧石白云岩砾石而成;砂质页岩,含羊齿类及瓣类化石;砂砾岩等。地层产状NNE走向、倾向SE,倾角较小。后城组与下伏地层为角度不整合接触。

新生界主要为第四系风成黄土及冲、洪积,残坡积物组成。

1.2 构造

梁家沟银锌多金属成矿区位于尚义—赤城深大断裂南侧5 km附近,构造位置为内蒙地轴与燕山台褶带过渡部位的燕山台褶带北缘。

区域构造以断裂为主、规模较大的断裂构造为NNW向(尚义—赤城断裂)及SN向,其次为NW向断裂,除SN向为正断层外,其余均为逆断层。区域内青白口系下马岭组页岩由于受断裂构造影响,地层产状局部较零乱,常出现一系列紧密褶皱;各组断裂构造在矿区附近相对集中,构成成矿最有利部位。已有资料显示梁家沟银铜山、梁家沟红铜山及小堡子银铜沟石灰质大东沟等矿带内多金属矿床(点)均与构造关系较为密切。

1.3 岩浆岩

侵入岩主要为矿区以北的红砂梁斑状花岗岩株(图1)。岩体沿尚义—赤城深大断裂侵入形成,长轴为近东西向,出露长9 km,宽3 km,面积约20 km²。岩体侵位于侏罗系中统后城组中。

岩体主要岩石类型为斑状二长花岗岩,斑状角闪钾长花岗岩,似斑状结构,基质花岗结构。斑晶为条纹长石,基质由条纹长石、更长石、石英、普通角闪石、黑云母等组成。岩体南部边缘岩石类型渐变为斑状正长石。据张家口地质三队资料,红砂梁斑状花岗岩属钙碱性岩石^[1]。岩石中与成矿有关的Pb、Zn、Ag元素含量较高,Ag平均含量 0.13×10^{-6} ,Pb平均含量 32.91×10^{-6} ,Zn平均含量 100.95×10^{-6} 。岩体距梁家沟铅锌银多金属矿带的距离较近,大致在200~2000 m,且成矿元素含量较高,可能对梁家沟一带的铅锌银多金属矿床的形成起到一定的作

用。根据其周边地层的穿插关系推测形成时代为燕山早期第二阶段。

2 矿床地质特征

梁家沟矿区共有3个矿带,赋存于雾迷山组六段下部层位中—薄层燧石条带白云岩及角砾状燧石白云岩中(图2)。矿带自北而南为:

I矿带:位于火石沟村东南银铜沟—大南洼一带,可分为2个矿体,矿体产状为NW 55°~65°,倾向NE,倾角30°~50°,深部变陡。

II矿带:位于火石沟村南红铜山一带,矿体为似层状,走向NW,倾向NE,倾角15°~35°。控制长度160 m,平均厚度2.5 m。Pb最高含量16%,平均3.63%;Zn最高含量9.5%,平均3.63%;Ag最高含量340 g/t,平均198 g/t。

III矿带:位于梁家沟村北,分4个平行矿体,赋存于雾迷山组六段下层上部角砾状燧石白云岩及燧石条带白云岩中,矿床呈层状、似层状,产状与围岩一致,局部斜交,矿体走向为NW 40°~60°,倾向NE,倾向28°~50°。

本次以梁家沟III矿带为例,简述矿体特征。梁家沟村北III矿带由4个矿体组成,其产状均为近NW 60°走向,倾向NE,倾角随地势变化较大,海拔较高处,倾角较缓,一般在30°~40°,随着海拔降低,矿体产状明显变陡,部分区域产状接近直立。通过不同中段矿石矿物组成分析,矿体在垂向分带现象明显,深部出现原生硫化物。

矿石中金属矿物主要为方铅矿、闪锌矿、黄铁矿等,脉石矿物以石英、方解石为主。金属矿物胶结碎裂白云岩角砾。矿石主要以浸染状为主,大部分矿石氧化,矿石中常见铜蓝、孔雀石、褐铁矿等氧化矿物。矿区深部见原生矿石,主要呈块状,由于矿区勘探深度较浅,原生矿石数量较少。镜下黄铁矿分布在闪锌矿内呈固体出溶物,粒度<0.05 mm(图3)。

近矿圈岩蚀变主要为硅化(白云岩)。其次为碳酸盐化、高岭土化等。总的来看,围岩蚀变较弱。

3 成矿时代厘定

精确厘定矿床的成矿时代,对于正确认识矿床的形成过程、确定矿床成因,总结成矿规律并指导

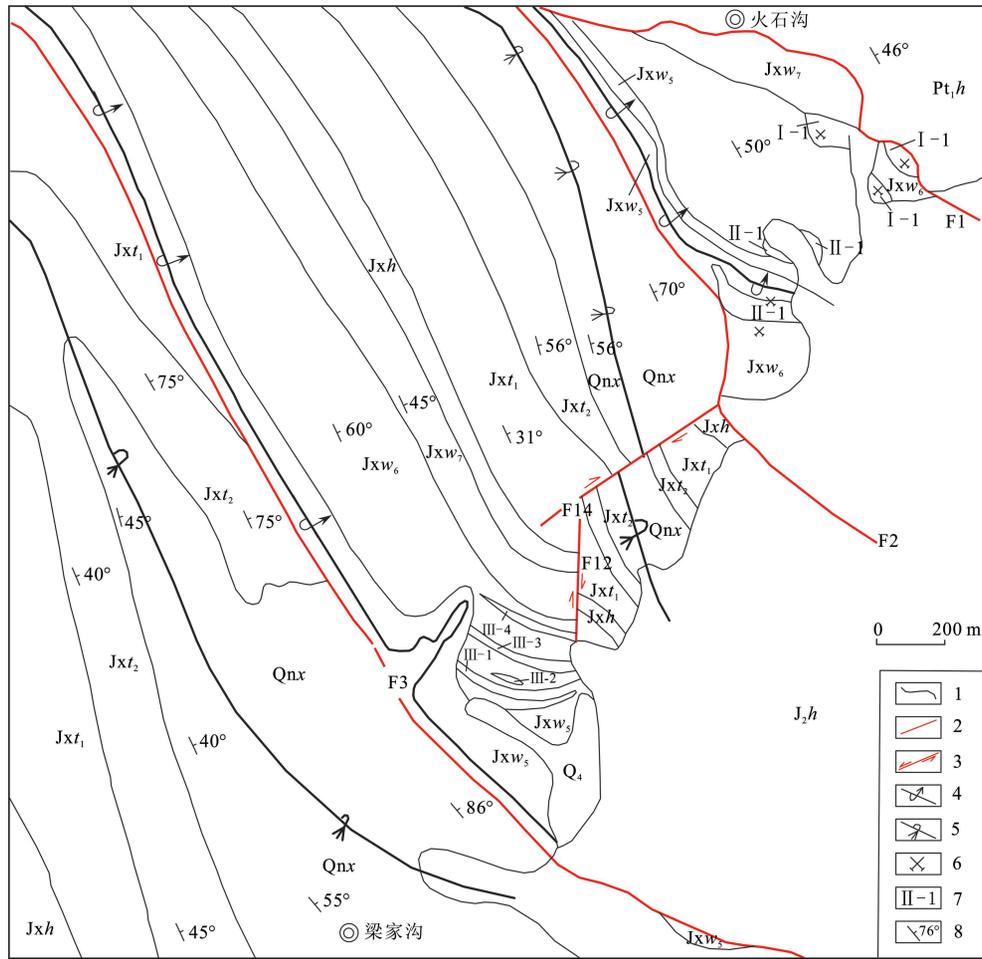


图2 梁家沟矿区地质简图

1—地质界线;2—逆断层;3—平推断层;4—倒转背斜轴;5—倒转向斜轴;6—老硐及编号;7—矿带及编号;8—岩层产状;
 Q₄—残坡积;J₂h—后城组;Qnx—下马岭组;Jxt₂—铁岭组二段;Jxt₁—铁岭组一段;Jxh—洪水庄;Jxw₇—雾迷山组七段;
 Jxw₆—雾迷山组六段;Jxw₅—雾迷山组五段;Pt₁h—红旗营子群

Fig.2 Geological sketch map of the Liangjiagou ore district

1—Geological boundary; 2—Reverse fault; 3—Translational fault; 4—Axis of overturned anticline; 5—Axis of overturned syncline;
 6—Old workings and its serial number; 7—Ore belt and its serial number; 8—Attitude of rocks; Q₄—Quaternary residual material;
 J₂h—Jurassic Houcheng Formation; Qnx—Xiamaling Formation of Qingbaikou Period; Jxt₂—2nd member of Tieling Formation of Jixian System;
 Jxt₁—1st member of Tieling Formation of Jixian System; Jxh—Hongshuihuang Formation of Jixian System;
 Jxw₇—7th member of Wumishan Formation of Jixian System; Jxw₆—6th member of Wumishan Formation of Jixian System;
 Jxw₅—5th member of Wumishan Formation of Jixian System; Pt₁h—Palaeoproterozoic Hongqiyinzi Group

找矿勘探都具有极为重要的意义^[3-4]。近年来,随着同位素定年技术的不断改进,矿床学家对Pb-Zn矿床定年,特别是MVT型Pb-Zn矿床定年做了大量开拓性的工作,并取得了重要进展,使得直接测定Pb-Zn矿床的年龄成为可能^[4-9]。

李志昌等(1994)^[10]认为,有色金属矿床中共生矿物可能更满足等时线的条件,因为地壳中流体的运移可以使成矿溶液中Sr同位素的初始组成趋向均一化,也可能由于成矿条件的变化和矿物晶体化

学性质的差异会引起Rb-Sr体系发生强烈的分馏作用。刘建明等^[3,11]也认为,用热液矿物组合Rb-Sr等时线测定热液矿床的成矿时代比较理想,由于不同矿物相具有不同的化学势,化学性质不同的Rb和Sr将发生化学分异,使同一成矿母液中沉淀出的一组共生矿物具有不同的Rb/Sr比值。用一组共生热液矿物开展Rb-Sr等时线定年,不仅符合Rb-Sr等时线定年的基本前提,而且还提高了Rb-Sr等时线的精确度。

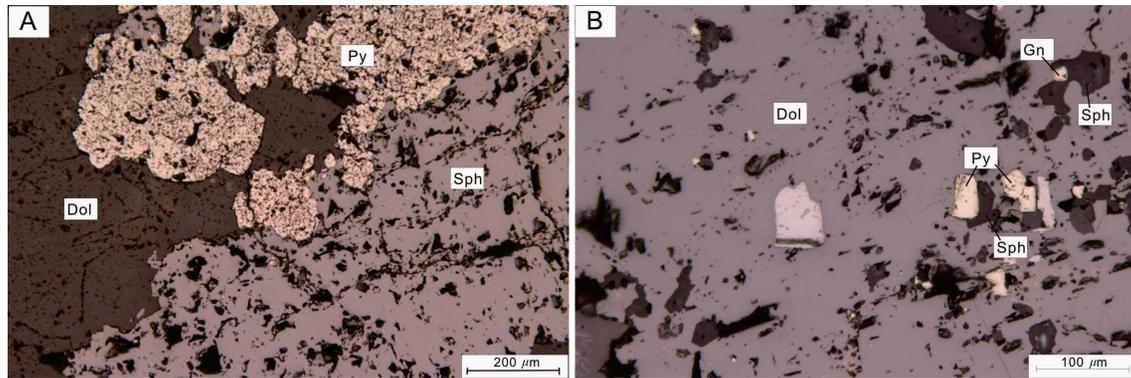


图3 梁家沟矿石矿物结构图

A—闪锌矿(Sph)、黄铁矿(Py)与白云石(Dol)共生;B—闪锌矿(Sph)、方铅矿(Gn)和黄铁矿(Py)共生,且局部闪锌矿粒内黄铁矿固溶体出溶

Fig.3 Structural diagram of ore minerals in the Lianjiangou polymetallic deposit

A—Sphalerite, pyrite and galena associated with dolomite; B—Sphalerite, pyrite and galena associated with dolomite, with local interstitial separation structure

Sm、Nd同为稀土元素,具有稳定性好、变化同步、不易受改造、母体衰变形成的子体容易在矿物的晶格中保存下来的特点,所以Sm-Nd等时线定年法也是一种较为理想的定年方法。

本次在详细研究梁家沟铅锌多金属矿床的地质特征基础上,选取了闪锌矿及其共生的矿物组合(黄铁矿与闪锌矿)开展Rb-Sr、Sm-Nd同位素定年研究,尝试获得一组可以相互验证的年龄数据,以便确定梁家沟矿床的成矿时代。

3.1 样品处理及分析方法

被测试矿物均为未风化、未蚀变样品,能够代表矿床的成矿年龄。首先将样品粉碎到40~80目,在双目镜下挑选出单矿物,纯度达99%以上。本次单矿物挑选工作由河北省地矿局廊坊区域地质调查所实验室完成。所有硫化物样品的Rb、Sr、Sm、Nd含量草测(7件)均在南京大学现代测试中心完成,在此基础上,挑选适合定年的样品在南京大学现代分析中心同位素分析室进行Rb、Sr、Sm、Nd含量和同位素组成测定。具体分析方法如下:

Rb-Sr同位素分析方法:采用高压密闭熔样和阳离子交换技术分离和提纯,然后用英国产的VG354质谱仪测定,测定方法见文献[12-13]。测定的美国NBS987同位素标样为: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.1710236\pm 7$,Sr的全流程空白为 $5\times 10^{-9}\sim 7\times 10^{-9}\text{g}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位素比值用 $^{86}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}=0.11194$ 进行标准化。 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ 的分析误差为 $\pm 1\%$, $\lambda_{\text{Rb}}=1.42\times 10^{-11}\text{a}^{-1}$ 。等时线年龄用

ISOPLOT (Version 2.90, 1994)程序计算。

Sm-Nd同位素分析方法:具体处理和分析方法同Rb、Sr同位素分析。测定的美国La Jolla Nd同位素标准为 0.511864 ± 3 ,Sm、Nd的全流程空白为 $5\times 10^{-11}\sim 7\times 10^{-11}\text{g}$,Sm、Nd含量的分析误差优于0.5%。 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 值用 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.7219$ 进行校正, $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 的分析误差为 $\pm 0.2\%$ 。等时线年龄用ISOPLOT(Version 2.90, 1994)程序计算。

3.2 分析结果

单矿物闪锌矿和共生矿物组合黄铁矿与闪锌矿的Rb、Sr及Sm、Nd含量和同位素组成测定结果见表1~2。利用ISOPLOT软件包计算出闪锌矿Rb-Sr等时线年龄 $t=(126\pm 17)\text{Ma}$,初始铈同位素组成 $I_{\text{Sr}}=0.71357$ (MSWD=0.69)(图4);共生矿物组合闪锌矿与黄铁矿的Rb-Sr等时线年龄 $t=(130.7\pm 2.7)\text{Ma}$,初始铈同位素组成 $I_{\text{Sr}}=0.7133483$ (MSWD=0.30)(图5);矿区全部硫化物的Rb-Sr等时线年龄 $t=(129.4\pm 3.4)\text{Ma}$,初始铈同位素组成 $I_{\text{Sr}}=0.713548$ (MSWD=1.8)(图6)。

Sm、Nd含量和同位素组成测定结果见表2,利用ISOPLOT软件包计算出共生矿物组合闪锌矿与黄铁矿Sm-Nd等时线年龄 $t=(131.0\pm 8.8)\text{Ma}$,初始铈同位素组成 $I_{\text{Nd}}=0.511955$ (MSWD=8.7)(图7);闪锌矿Sm-Nd等时线年龄 $t=(130.5\pm 1.1)\text{Ma}$,初始铈同位素组成 $I_{\text{Nd}}=0.511958$ (MSWD=0.65)(图8);矿区全部硫化物的Sm-Nd等时线年龄 $t=(131.3\pm$

表1 梁家沟铅锌矿床硫化物 Rb-Sr 同位素组成

Table 1 Rb-Sr isotopic analyses of sulfides from the Liangjiagou polymetallic deposit

序号	样号	样品名称	Rb/ 10^{-6}	Sr/ 10^{-6}	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
1	1-L1	闪锌矿	0.6849	0.5902	0.5902	0.714753±6
2	2-L3	闪锌矿	0.6396	1.078	1.078	0.715456±9
3	2-L3	黄铁矿	2.991	2.843	2.843	0.718771±8
4	2-L5	闪锌矿	0.3583	0.2315	0.2315	0.713926±7
5	2-L6	闪锌矿	0.2495	0.0751	0.0751	0.713704±10
6	2-L8	闪锌矿	0.6297	0.7627	0.7627	0.714925±9
7	2-L8	黄铁矿	3.893	3.974	3.974	0.720867±11

注:测试单位为南京大学现代分析中心同位素分析室。

表2 梁家沟铅锌矿床硫化物 Sm-Nd 同位素组成

Table 2 Sm-Nd isotopic analyses of sulfides from the Lianjiagou polymetallic deposit

序号	样号	样品名称	Sm/ 10^{-6}	Nd/ 10^{-6}	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\epsilon\text{Nd}(t)$	t_{DM}/Ma
1	1-L1	闪锌矿	0.2267	0.3795	0.3607	0.512266±9	-10	1736
2	2-L3	闪锌矿	0.2809	0.3406	0.4985	0.512382±8	-10	1738
3	2-L3	黄铁矿	0.0798	0.5827	0.0826	0.512021±10	-10.1	1749
4	2-L5	闪锌矿	0.1463	0.2974	0.2985	0.512214±7	-10	1734
5	2-L6	闪锌矿	0.2903	0.2531	0.6937	0.512551±9	-9.9	1733
6	2-L8	闪锌矿	0.0647	0.2613	0.1491	0.512085±8	-10	1737
7	2-L8	黄铁矿	0.0854	0.4987	0.1043	0.512048±9	-10	1736

注:测试单位为南京大学现代分析中心同位素分析室。

2.2) Ma, 初始钕同位素组成 $I_{\text{Nd}} = 0.5119554$ (MSWD=4.1)(图9)。

不管是 Rb-Sr 法, 还是 Sm-Nd 法, 两者结果在误差范围内是非常一致的, 起到了相互验证的效果, 梁家沟铅锌矿床形成时代为 126~131.3 Ma, 同位素综合年龄 130 Ma。

3.3 成矿年龄的可靠性分析

Faure(1986)在研究 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值的二元混合体系时提出, 一组参加等时线拟合的样品, 通过对它们的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}-1/\text{Sr}$ 作图, 可以判断是否是混合线, 其中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 为测定值, $1/\text{Sr}$ 是 Sr 浓度倒数。当这两个参数之间存在正相关变化时为混合线, 反之, 不是混合线。这个方法也可用于判断 Sm-Nd 等时线^[14]。

本次将梁家沟矿床硫化物 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}-1/\text{Sr}$ 、 $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}-1/\text{Rb}$ 和 $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}-1/\text{Sm}$ 、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}-1/\text{Nd}$ 作图(图10~11), 表明二者之间不存在线性关系。闪锌矿和共生矿物(闪锌矿-黄铁矿)的上述图解也显示二者之间不存在线性关系。说明闪锌矿及其共生矿物生长期间初始值基本上保持不变, 因此, 可以认为硫化物、闪锌矿和共生矿物组合(闪锌矿-黄铁矿)的 Rb-Sr、Sm-Nd 样品所拟合的直线具有等时

线意义。

3.4 成矿物质来源

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 是判断成岩成矿物质来源的重要指标, 在矿床地质研究中, 常利用其来示踪成矿物质来源、岩浆流体、深源流体的壳幔混染作用。此外, 由于 Sm-Nd 体系抗变质、蚀变及风化等干扰作用的能力较强, 这些特点决定了 Nd 同位素是探索地幔、地壳演化、壳-幔相互作用, 以及研究岩石、矿床成因和物质来源的重要示踪工具^[12]。梁家沟矿床闪锌矿、闪锌矿和黄铁矿对及全部硫化物等时线年龄给出的初始锶同位素比值分别为 0.71357、0.7133483 和 0.713548。初始钕同位素组成 I_{Nd} 分别为 0.511955、0.511958 和 0.5119554。即梁家沟硫化物初始锶同位素 I_{Sr} 集中分布在 0.713~0.714, 初始钕同位素 I_{Nd} 分布在 0.512 左右。

胡文学等(1996)^[15]对冀北红旗营子群 8 件黑云角闪斜长片麻岩全岩 Rb-Sr 分析后, 测得全岩 Rb-Sr 等时年龄为 (2453±113) Ma, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比值为 0.7071; 采集了 5 件细粒斜长角闪岩样品, 获得等时线年龄 (2587±178) Ma, $I_{\text{Nd}} = 0.5096 \pm 0.00018$ 。李华芹等(1994)^[16]对蓟县中新元古界典型剖面锶同位素组

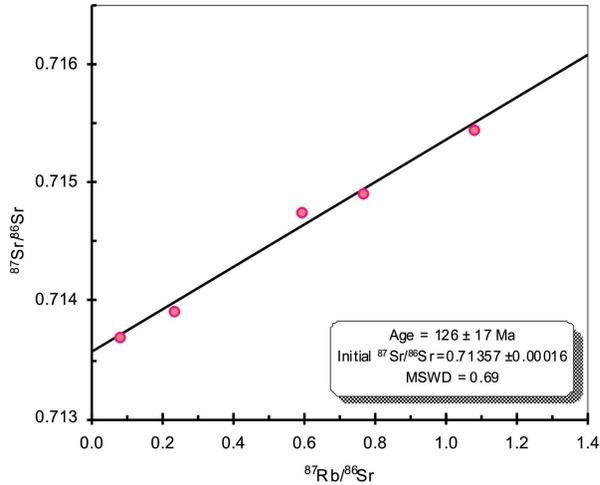


图4 闪锌矿Rb-Sr等时线图解
Fig.4 Rb-Sr isochron diagram of sphalerite

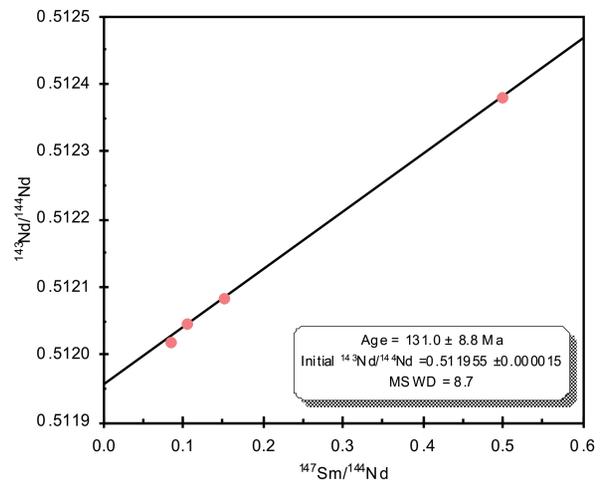


图7 闪锌矿和黄铁矿Sm-Nd等时线图解
Fig.7 Sm-Nd isochron of sphalerite and pyrite

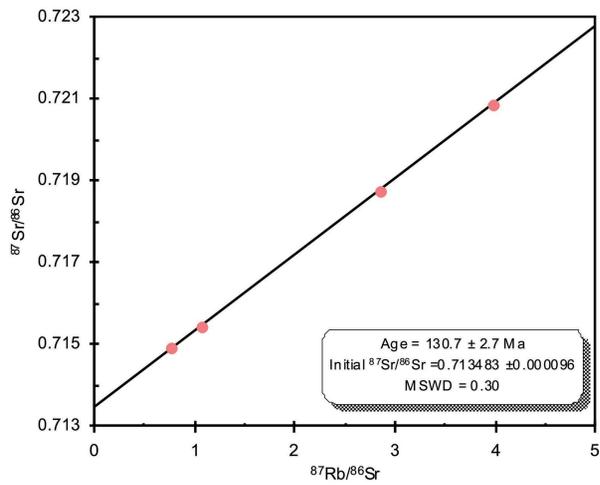


图5 闪锌矿和黄铁矿Rb-Sr等时线图解
Fig.5 Rb-Sr isochron diagram of sphalerite and pyrite

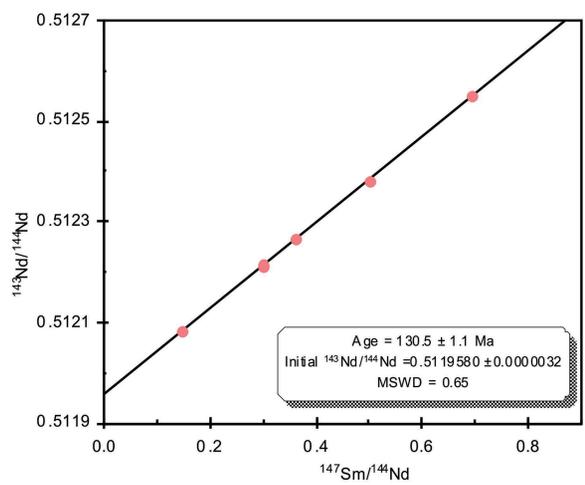


图8 闪锌矿Sm-Nd等时线图解
Fig.8 Sm-Nd isochron diagram of sphalerite

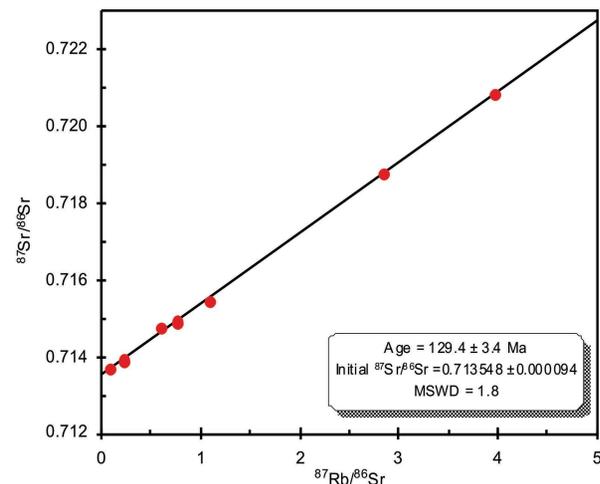


图6 梁家沟全部硫化物Rb-Sr等时线图解
Fig.6 Rb-Sr isochron diagram of sulfides

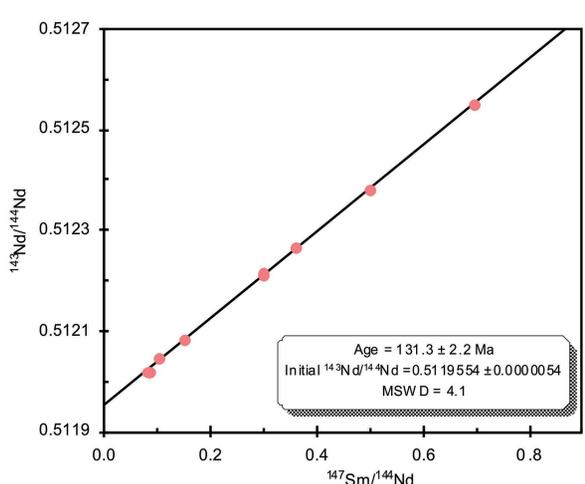


图9 梁家沟多金属矿床硫化物Sm-Nd等时线图解
Fig.9 Sm-Nd isochron diagram of sulfides

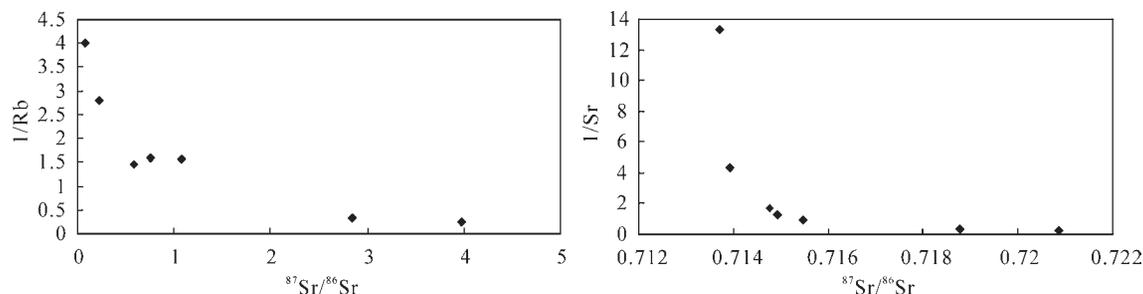


图10 梁家沟多金属矿床硫化物 $1/Rb-^{87}Rb/^{86}Sr$ 和 $1/Sr-^{87}Sr/^{86}Sr$ 关系图
Fig.10 Diagrams of $1/Rb$ versus $n(^{87}Rb)/n(^{86}Sr)$ and $1/Sr$ versus $n(^{87}Sr)/n(^{86}Sr)$ of sulfides from the Lianjiagou polymetallic deposit

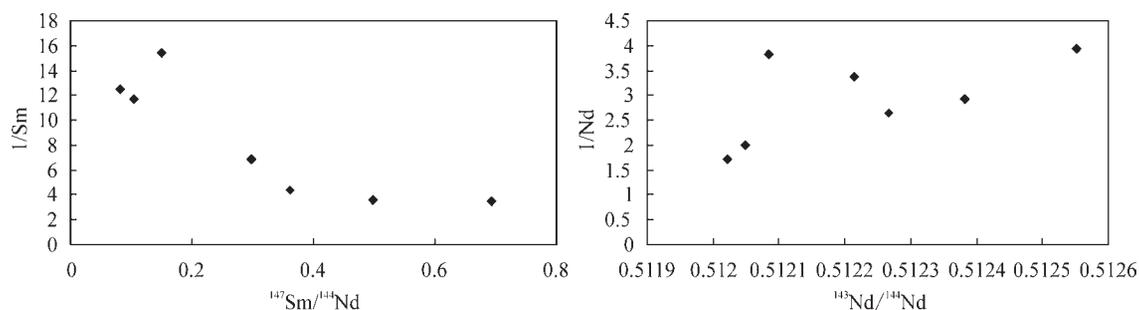


图11 梁家沟多金属矿床硫化物 $1/Sm-^{147}Sm/^{144}Nd$ 和 $1/Nd-^{143}Nd/^{144}Nd$ 关系图
Fig.11 Diagrams of $1/Sm$ versus $n(^{147}Sm)/n(^{144}Nd)$ and $1/Nd$ versus $n(^{143}Nd)/n(^{144}Nd)$ of sulfides from the Lianjiagou polymetallic deposit

成特征进行了研究,在雾迷山组中共采集了23件白云岩样品进行了铯同位素分析, $^{87}Sr/^{86}Sr$ 变化范围在0.70515~0.73895,其中20个样品的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值小于0.711,3个样品 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值高于0.711,23件雾迷山组白云岩 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 平均值为0.709695。河北省地矿局地质三队(1991)测得矿区北部红砂梁斑状花岗岩岩体 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值较高,达0.74872^[1],暗示着该花岗岩体由地壳物质深熔作用产生,或母岩浆遭受了大量古老硅铝质物质的同化作用所形成。

分别对上述红旗营子群结晶基底、雾迷山组沉积盖层和燕山期酸性岩体综合对比可知,梁家沟硫化物初始铯同位素值明显高于雾迷山组白云岩和古元古代红旗营子群变质岩,而小于红砂梁岩体的铯同位素组成。暗示出成矿流体受到高铯同位素组成的燕山期酸性岩体流体混染,即硫化物的成矿物质来源与燕山期酸性岩体有关。硫化物的初始钕同位素 I_{Nd} 介于上、下地壳 $^{143}Nd/^{144}Nd$ (0.51212~0.50071)^[14],亦表明硫化物的来源与壳源物质关系

密切。 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 和 $^{143}Nd/^{144}Nd$ 同位素示踪结果表明,梁家沟硫化物来源与地壳物质重熔所形成的酸性岩体关系密切。

硫化物 I_{Sr} 同位素初始比值范围为0.7133483~0.71357,非常接近。高的铯同位素初始比值和负的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值(表2)均表明硫化物的物源与古老地壳的同熔或重熔有关。在 $\epsilon_{Nd}(t)-I_{Sr}$ 图解中(图12),其样品点均落在了下地壳趋势线附近,说明硫化物来源与下地壳物质有关。此外,硫化物样品(表2)的Nd模式年龄平均值为1737.6 Ma,和其同位素综合年龄(130 Ma)相差1607.6 Ma,也说明其成岩物质与古老的壳源物质有关。

4 结果与讨论

中元古代初始,华北古陆固结的基底开始裂解,形成了与陆块边缘近于平行的白云鄂博坳拉槽、渣尔泰坳拉槽、燕山坳拉槽和泛河坳拉槽等4个坳拉槽或裂隙槽。张家口地区由于五台旋回的几

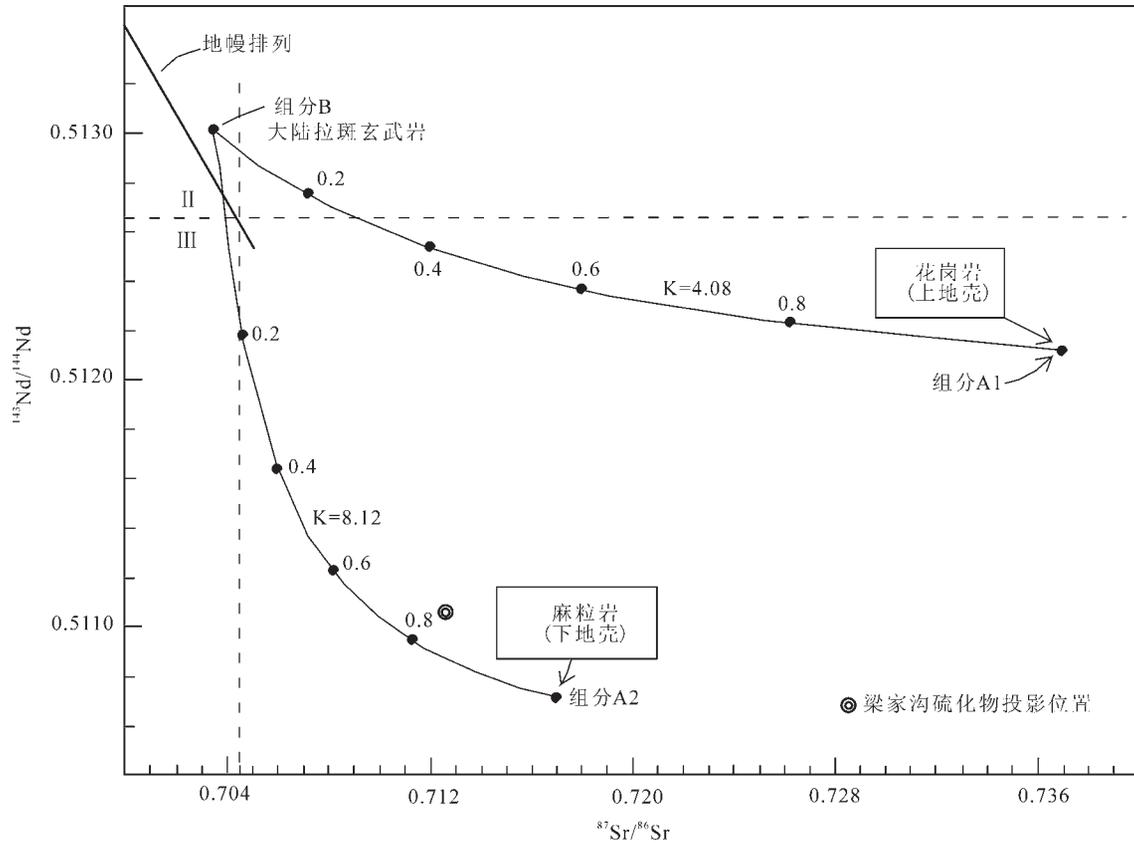


图 12 大陆下地幔与上、下地壳两组分的曲线图
Fig.12 Plot of lower mantle and upper-lower crust

条基底断裂发生差异性活动,从而出现了大体以尚义—赤城—丰宁—隆化深断裂为界的海、陆分化局面^[17]。北侧内蒙地轴长期处于持续上升状态,形成正形隆起地带。南侧地壳持续沉降接受海侵,形成中—新元古代燕山海槽,沉积了中—新元古代的数千米—近万米的陆屑—碳酸盐沉积建造。张家口南部中—新元古代碳酸盐岩地层分布广泛。在该时代地层中目前已发现怀来县常庄子铅锌银多金属矿床、石盘口银洞沟多金属矿床等多处,其分布层位和赋矿围岩均与梁家沟多金属矿床类似。本文获取的梁家沟多金属矿床成矿年代学资料为解决上述矿床成矿环境、成因类型等问题解决提供了基础和限定条件。

燕山期不仅是中国东部多金属矿床成矿的爆发期^[18-19],也是横穿张家口东部地区北东向上黄旗—乌龙沟构造岩浆岩带的形成时期,该岩浆岩带内不仅发育了大河南、大海陀岩体,且张家口南部已发现的多金属矿床多与该岩浆岩带关系密切。目

前该构造—岩浆岩带取得了较为显著的找矿突破,矿床类型以次火山岩型钼铅锌银多金属矿床为主。如赤城下窝铺铅锌金铜多金属矿、涿鹿塔峪金多金属矿等。由于缺少具体的定年数据,长期以来该岩浆岩带两侧中—新元古代白云岩地层中赋存的多金属矿床形成时代存在较大争议。本次研究表明,梁家沟矿床矿石以硫化物胶结白云石角砾的角砾状矿石为主,其次为脉状,较少或不显示同生沉积的纹层状或层状构造,表明矿石矿物的形成以后生为主。矿石中硫化物单矿物 Rb-Sr 和 Sm-Nd 法定年结果显示,矿床形成时代为燕山期晚期白垩纪。同位素示踪结果表明,成矿物质来源与地壳物质重熔所形成的酸性岩体关系密切。因此,梁家沟矿床的形成与燕山期上黄旗—乌龙沟构造—岩浆演化关系密切。

5 结 论

(1)梁家沟银铅锌多金属矿床硫化物 Rb-Sr 和

Sm-Nd同位素定年结果为126~131.3 Ma,两种方法的定年结果非常接近,起到了相互验证的效果。同位素综合年龄为130 Ma。可以确定该矿床的形成时代为燕山期晚期白垩纪。

(2)Sr、Nd初始比值示踪结果显示,硫化物来源与地壳物质重熔所形成的酸性岩体关系密切。Nd模式年龄也支持成矿物质与古老的壳源物质有关的认识。据此推断,矿床的形成与研究区燕山期构造-岩浆岩活动带的形成关系密切。

参考文献(References):

- [1] 宋瑞先,魏明辉,何宇青,等. 张家口地质矿产[M]. 北京:地质出版社,2013.
Song Ruixian, Wei Minghui, He Yuqing, et al. Geology and Mineral Resources of Zhangjiakou Area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2013(in Chinese).
- [2] 芮宗瑶,施林道,方如恒. 华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质[M]. 北京:地质出版社,1994,161-168.
Rui Zongyao, Shi Lindao, Fang Ruheng. Geology of Nonferrous Metallic Deposits in the Northern Margin of the North China Landmass and Its Adjacent Area[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994, 161-168(in Chinese).
- [3] 刘建明,沈洁,赵善仁,等. 金属矿床同位素精确定年的方法和意义[J]. 有色金属矿产与勘查,1998,7(2): 107-113.
Liu Jianming, Shen Jie, Zhao Shanren, et al. Isotopic dating for metallic deposits and its significance[J]. Geological Exploration for Non-ferrous Metals, 1998, 7(2): 107-113(in Chinese with English abstract).
- [4] 陈文,万渝生,李华芹,等. 同位素地质年龄测定技术及应用[J]. 地质学报,2011,85(11): 1917-1947.
Chen Wen, Wan Yusheng, Li Huaqin, et al. Isotope geochronology: Technique and application[J]. Acta Geologica Sinica, 2011, 85(11): 1917-1947(in Chinese with English abstract).
- [5] 田世洪,杨竹森,侯增谦,等. 玉树地区东莫扎抓和莫海拉亨铅锌矿床Rb-Sr和Sm-Nd等时线年龄及其地质意义[J]. 矿床地质,2009,28(6): 747-758.
Tian Shihong, Yang Zhusen, Hou Zengqian, et al. Rb-Sr and Sm-Nd isochron ages of Dongmozha and Mohailaheng Pb-Zn ore deposits in Yushu area, southern Qinghai and their geological implications[J]. Mineral Deposits, 2009, 28(6): 747-758(in Chinese with English abstract).
- [6] 郑伟,陈懋弘,徐林刚,等. 广东天堂铜铅锌多金属矿床Rb-Sr等时线年龄及其地质意义[J]. 矿床地质,2013,32(2): 259-272.
Zheng Wei, Chen Maohong, Xu Lingang, et al. Rb-Sr isochron age of Tiantang Cu-Pb-Zn polymetallic deposit in Guangdong Province and its geological significance[J]. Mineral Deposits, 2013, 32(2): 259-272(in Chinese with English abstract).
- [7] 赵葵东,蒋少涌. 金属矿床的同位素直接定年方法[J]. 地质前缘,2004,11(2): 425-434.
Zhao Kuidong, Jiang Shaoyong. Direct isotope dating for metallic ore deposits[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(2): 425-434(in Chinese with English abstract).
- [8] 杨红梅,蔡红,段瑞春,等. 硫化物Rb-Sr同位素定年研究进展[J]. 地球科学进展,2012,27(4): 379-385.
Yang Hongmei, Cai Hong, Duan Ruichun, et al. Progress in Rb-Sr isotopic dating of sulfide[J]. Advances in Earth Science, 2012, 27(4): 379-385(in Chinese with English abstract).
- [9] 魏俊浩,刘从强,李志德,等. 论金矿床成矿年代的确定——以丹东地区成岩成矿Rb-Sr、U-Pb同位素年代为例[J]. 地质学报,2003,77(1): 113-119.
Wei Junhao, Liu Congqiang, Li Zhide, et al. U-Pb, Rb-Sr isotopic dating of the diagenesis and mineralization of gold deposits in the Dandong Area[J]. Acta Geologica Sinica, 2003, 77(1): 113-119(in Chinese with English abstract).
- [10] 李志昌,蔡红,朱家平. 矿石、沉积岩年龄的直接测定[J]. 地质地球化学,1994(1): 47-52.
Li Zhichang, Cai Hong, Zhu Jiaping. Direct isotope dating for ore and sedimentary rock[J]. Geology-Geochemistry, 1994, (1): 47-52(in Chinese with English abstract).
- [11] 刘建明,赵善仁,沈洁,等. 成矿流体活动的同位素定年方法评述[J]. 地球物理学进展,1998,13(3): 46-55.
Liu Jianming, Zhao Shanren, Shen Jie, et al. Review on direct isotopic dating of hydrothermal ore-forming processes[J]. Advances in Geophysics, 1998, 13(3): 46-55(in Chinese with English abstract).
- [12] 王银喜,杨杰东,陶仙聪,等. 化石、矿物和岩石样品的Sm-Nd同位素实验方法研究及其应用[J]. 南京大学学报(自然科学版),1988,21(2): 297-308.
Wang Yinxi, Yang Jiedong, Tao Xiancong, et al. A study of the Sm-Nd method for fossil mineral and rock and its applications[J]. Journal of Nanjing University(Natural Sciences Edition), 1988, 24(2): 297-308(in Chinese with English abstract).
- [13] 王银喜,顾连兴,张遵忠,等. 博格达裂谷双峰式火山岩地质年代学与Nd-Sr-Pb同位素地球化学特征[J]. 岩石学报,2006,22(5): 1215-1224.
Wang Yinxi, Gu Lianxing, Zhang Zunzhong, et al. Geochronology and Nd-Sr-Pb isotopes of the bimodal volcanic rocks of the Bogda rift[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2006, 22(5): 1215-1224(in Chinese with English abstract).
- [14] 李志昌,路远发,黄圭成. 放射性同位素地质学方法与进展[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2004.
Li Zhichang, Lu Yuanfa, Huang Guicheng. Geology Method and Progress of Radioactive Isotope[M]. Wuhan: China University of Geoscience Press, 2004(in Chinese).
- [15] 胡文学,张满江,权恒. 冀北红旗营子群同位素年龄及其时代归属[J]. 中国区域地质,1996,(2): 186-192.

- Hu Wenxue, Zhang Manjiang, Quan Heng. The isotopic ages of the Hongqiyingzi Group in northern Hebei and its age assignment[J]. *Regional Geology of China*, 1996, (2): 186-192(in Chinese with English abstract).
- [16] 李华芹, 蔡红, 秦正永, 等. 蓟县中上元古界典型剖面锶同位素组成及其地层意义[J]. *地球学报*, 1994, (1/2): 232-244.
- Li Huanqin, Cai Hong, Qin Zhengyong, et al. Strontium isotope compositions of Jixian Middle-Upper Proterozoic stratotype section and their significances[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 1994, (1/2): 232-244(in Chinese with English abstract).
- [17] 崔盛芹, 李锦蓉, 吴珍汉, 等. 燕山地区中生代陆内造山作用[M]. 北京: 地质出版社, 2002.
- Cui Shengqin, Li Jinrong, Wu Zhenhan, et al. Mesozoic and Cenozoic Intracontinental Orogenesis of the Yanshan Area, China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002.
- [18] 华仁民, 毛景文. 试论中国东部中生代成矿大爆发[J]. *矿床地质*, 1999, 18(4): 300-307.
- Hua Renmin, Mao Jingwen. A preliminary discussion on the Mesozoic metallogenic explosion in east China[J]. *Mineral Deposits*, 1999, 18(4): 300-307(in Chinese with English abstract).
- [19] 毛景文, 华仁民, 李晓波. 浅议大规模成矿作用与大型矿集区[J]. 1999, 18(4): 291-299.
- Mao Jingwen, Hua Renmin, Li Xiaobo. A preliminary study of large scale metallogenesis and large clusters of mineral deposits[J]. *Mineral Deposits*, 1999, 18(4): 291-299(in Chinese with English abstract).

Rb-Sr and Sm-Nd isochron ages of the Liangjiagou Pb-Zn-Ag ore deposit in Chicheng County of Zhangjiakou City and their geological implications

LI Sui-min¹, WEI Ming-hui², LI Sen-wen², LI Zi-ye¹, LI Yu-hong²,
HAN Yu-chou³, LI Yong-feng³

(1. *Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, Hebei, China*; 2. *No. 3 Geological Party, Hebei Bureau of Geological Exploration, Zhangjiakou 075000, Hebei, China*;

3. *Hebei Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, Shijiazhuang 050081, Hebei, China*)

Abstract: Mesoproterozoic and Epiproterozoic carbonate strata are widely distributed in southern Zhangjiakou. Located in the Wumishan Formation in Chicheng County, the Liangjiagou Pb-Zn-Ag polymetallic deposit is a typical polymetallic deposit in the carbonate sedimentary cover of southern Zhangjiakou. Due to lack of data of ore-forming epoch of the deposit, there long exist two viewpoints concerning the genesis of the deposit, i.e., syngenetic sedimentation and epigenetic transformation. The ages of the Liangjiagou deposit were determined by the Rb-Sr isochron method for sphalerite and a group of mineral assemblage samples (pyrite and sphalerite), and the results are 126 Ma and 130.7 Ma respectively. The ages of the Liangjiagou deposit were also determined by the Sm-Nd isochron method for sphalerite and a group of mineral assemblage samples (sphalerite and pyrite), and the results are 130.5 Ma and 131 Ma respectively. The metallogenic epochs measured by the Rb-Sr and Sm-Nd isochron methods are very close to each other. Combined with regional geological background of Zhangjiakou, the authors hold that the mineralization resulted from hydrothermal activities in the Yanshanian tectonic movement period.

Key words: lead-zinc polymetallic deposit; ore-forming epoch; Liangjiagou

About the first author: LI Sui-min, born in 1971, doctor, professor, mainly engages in the study of deposit geology and deposit geochemistry; E-mail: sml71@163.com.