

# 内蒙古 1017 高地银多金属矿床流体包裹体特征与同位素地球化学

孙磊, 王治华, 葛良胜, 常春郊, 丛润祥, 张慧玉

(武警黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:** 1017高地银多金属矿床位于内蒙古自治区东乌珠穆沁旗, 矿区大地构造位置处于西伯利亚板块东南缘查干敖包-奥尤特-朝不楞早古生代构造-岩浆岩带东段。银多金属矿体主要赋存于上泥盆统安格尔音乌拉组砂岩和华力西中期二长花岗岩中, 矿石工业类型主要为石英脉型和蚀变黑云二长花岗岩型。石英脉型矿石中流体包裹体比较发育, 相态组合简单, 完全均一, 温度介于 175~225°C 区间, 属于中低温, 盐度平均值为 4.42%~11.46%, 属于中低盐度。矿石硫同位素组成相对均一,  $\delta^{34}\text{S}$  值介于 3.4‰~8.0‰ 之间, 均值 5.35‰, 与幔源硫的  $\delta^{34}\text{S}$  值(-3‰~3.0‰) 比较, 有向沉积硫的明显漂移, 表明矿石中硫来源于沉积硫与岩浆硫的混合、平衡作用。矿石硫化物铅同位素比值没有明显的差别,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值为 18.274 0~18.399 6,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值为 15.539 9~15.561 6,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值为 38.036 3~38.177 2, 具有 Th、Pb 微弱亏损特征, 指示矿石中硫化物的铅源主要来自于亏损 U 的上地幔和下地壳相互作用的产物, 且成矿流体在上升的过程中又混入了部分富集放射性铀铅的地壳物质。矿石氢氧同位素组成为:  $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$  值介于 -103‰~-125‰ 之间,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$  值在 6.9‰~13.9‰ 之间, 显示成矿流体中的水来源于岩浆水与大气降水的混合水。结合 1017 高地银多金属矿床的区域成矿地质背景和矿床地球化学特征, 认为 1017 银多金属矿床成矿物质来源于深源岩浆和上地壳的混合, 成矿流体主要来自于岩浆期后热液和大气降水, 其成因类型可归于中低温、中低盐度的花岗质岩浆热液型银多金属矿床。

**关键词:** 银多金属矿床; 流体包裹体; 同位素地球化学; 矿床成因类型; 东乌珠穆沁旗

中图分类号: P597; P618.52

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2014)02-0317-12

## Fluid inclusions characteristics and isotopic geochemistry of the Highland 1017 Ag polymetallic deposit in Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia

SUN Lei, WANG Zhi-hua, GE Liang-sheng, CHANG Chun-jiao, CONG Run-xiang and ZHANG Hui-yu  
(Institute of Gold Geology, Chinese Armed Police Force, Langfang 065000, China)

**Abstract:** Located in Dong Ujimqin Banner of Inner Mongolia, the Highland 1017 Ag polymetallic deposit tectonically belongs to the easternmost part of Early Paleozoic Chaganobo-Aououte-Chaobuleng tectono-magmatic belt on the southeastern margin of the Siberian plate. The ore bodies mainly occur in sandstone of the Upper Devonian Angeeryinwula Formation and adamellite of middle Hercynian period, and the commercial types of ores include quartz-vein type and altered adamellite type. Fluid inclusions are well developed in quartz-type ores, and the majority of fluid inclusions consist of two phases of vapor and liquid. The homogenization temperature and salinity are in the range of 175~225°C and 4.42%~11.46%, respectively. The ores have uniform sulfur isotopic composition with  $\delta^{34}\text{S}$  varying from 3.4‰ to 8.0‰, suggesting that sulfur originated from the mixing and equilibrium processes of sedimentary and magmatic sulfur. The  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  ratios of

收稿日期: 2013-08-12; 修订日期: 2013-10-10

基金项目: 中国地质调查局矿产资源远景调查评价项目(1212011085263)

作者简介: 孙磊(1978-), 女, 博士, 工程师, 主要从事金矿地质研究工作, E-mail: zhihuawang686@sina.com

sulfides from the ores vary in the range of 18.274 0~18.399 6, 15.539 9~15.561 6 and 38.036 3~38.177 2 respectively, implying that the lead was derived mainly from the interaction between uranium-depleted upper mantle and lower crust, and that ore-forming fluid was also contaminated by radioactive uranium-rich upper crust during its upward migration.  $\delta D_{V-SMOW}$  values vary from -103‰ to -125‰ and  $\delta^{18}O_{V-SMOW}$  range from 6.9‰ to 13.9‰, indicating that ore-forming fluid was the mixture of magmatic water and meteoric water. In combination with the regional metallogenic geological setting and geochemical characteristics of the Highland 1017 Ag polymetallic deposit, it is inferred that the ore-forming material was derived from the mixing process of deep magma and the upper crust, and the ore-forming fluid was the mixture of magmatic water and meteoric water. This deposit can be genetically regarded as the granitoid magmatic hydrothermal deposit with middle-low temperature and salinity.

**Key words:** silver polymetallic deposit; fluid inclusions; isotopic geochemistry; genetic types of ore deposits; Dong Ujimqin Banner

1017高地银多金属矿床位于内蒙古自治区东乌珠穆沁旗白音呼布尔北东约 20 km 处,距东乌珠穆沁旗政府所在地直线距离约 90 km,行政区划隶属东乌珠穆沁旗白音呼布尔苏木。矿区地理坐标为:东经 117°43′00″~117°46′00″,北纬 46°02′30″~46°04′30″,面积 14.34 km<sup>2</sup>。1017高地银多金属矿床是武警黄金第四支队 2006 年在东乌珠穆沁旗地区做铜铅锌矿产预查项目时新发现的,通过近几年的矿产普查工作,大致查明了银多金属矿体的规模、产状、品位。截止到 2010 年,整个矿区共发现含银铅锌矿(化)体 7 条,其中 2、3 号矿体提交资源量(333+334)银 227 526 千克、铅 69 640 吨、锌 9 054 吨。由于发现较晚,工作条件较差,因此该矿床的基础地质研究程度较低,特别是矿区科研工作几乎是空白,成矿物质来源、矿体控制因素以及矿床成因都还未进行过系统研究。本文通过对 1017 高地银多金属矿床地质特征、矿石流体包裹体和硫、铅、氢、氧同位素地球化学特征的系统研究,对该矿床的成矿流体和物质来源及矿床成因进行了初步探讨。

## 1 成矿地质背景

矿区大地构造位置位于西伯利亚板块东南缘查干敖包-奥尤特-朝不楞早古生代构造-岩浆岩带东段,其东南侧就是西伯利亚板块与华北板块的缝合带——二连浩特-贺根山深大断裂带(图 1)(聂凤军等,2007;张万益等,2009)。区域范围内出露的地层有中奥陶统、上志留统、泥盆系、下二叠统、侏罗系和白垩系火山-沉积岩以及第三系和第四系沉积物。其中,上泥盆统安格尔音乌拉组分布面积较广,在吉

林宝力格-额仁高毕-满都胡宝力格和安格尔音乌拉一带呈北东-南西向带状展布,岩性组合为砂岩、粉砂岩、板岩和火山碎屑岩,为本区重要的容矿围岩。区内岩浆岩分布广泛,其中以华力西期和燕山期花岗岩最为发育,并且与金属矿床具有密切的空间分布关系(赵一鸣等,1994;洪大卫等,2003;聂凤军等,2004;金岩等,2005)。区内主干断裂为北东向贺根山-索伦山深断裂和查干敖包-东乌珠穆沁旗深大断裂。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。古生界火山-沉积岩地层中北东向复式背斜和复式向斜构造亦比较发育,其中个别向斜的翼部就是赋矿的有利部位。

本区代表性银多金属矿床主要有吉林宝力格和阿尔哈达银多金属矿床(图 1)。吉林宝力格银多金属矿床位于 1017 高地矿床东约 20 km 处,矿区出露的上泥盆统安格尔音乌拉组是矿区的主要赋矿地层,岩浆岩较为发育,主要为阿钦楚鲁岩体和吉林宝力格岩株。矿区断裂构造发育,NE 向张扭性和 EW 向压性断裂是主要控矿构造,控制了大多数银多金属矿体的分布。矿床分为东、西两个矿段,具有工业价值的矿体共有 5 条,近于平行排列。在平面上矿脉之间水平间距最大为 60 m,最小约 20~30 m,剖面上矿脉呈侧幕式展布。矿脉倾角略缓于岩层倾角,在平面上呈整体向西收敛、向东撒开的趋势,垂向上自下而上逐渐收敛、向上撒开。根据矿石的矿物共生组合特征,可划分为银-金矿石和黄铁矿银多金属矿石。银-金矿石多为氧化,矿主要分布在氧化带内,黄铁矿银多金属矿石为原生矿石,主要分布在氧化带下面的构造破碎带中。矿石结构以胶状结构、

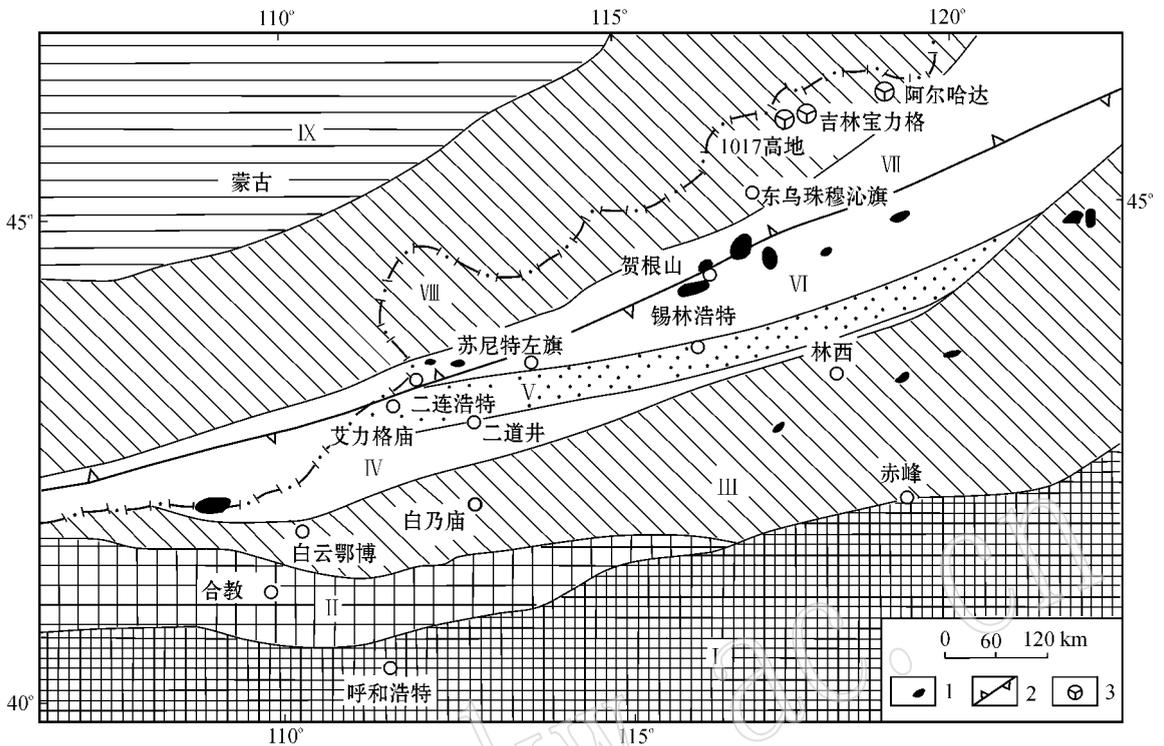


图 1 东乌珠穆沁旗一带及邻区大地构造分区图 [据聂凤军等(2007)修改]

Fig. 1 Tectonic division of Dong Ujimqin Banner and adjacent areas (modified after Nie Fengjun *et al.*, 2007)

华北陆块：I—古元古代-太古宙结晶基底；II—中-新元古代大陆边缘；III—白乃庙-温都尔庙前寒武纪-早古生代构造-岩浆岩带；IV—阿尔善图-查干淖尔晚古生代构造-岩浆岩带；V—艾力格庙-锡林浩特前寒武纪中间地块；VI—二连浩特-贺根山晚古生代蛇绿混杂岩带，西伯利亚板块：VII—阿巴嘎旗-东乌珠穆沁旗晚古生代构造-岩浆岩带；VIII—查干敖包-奥奥特-朝不楞早古生代构造-岩浆岩带；IX—南蒙古早古生代构造-岩浆岩带；1—镁铁质-超镁铁质侵入岩；2—古板块缝合带；3—多金属矿床

North China continental block：I—Paleo-Proterozoic-Archean crystalline basement；II—Mesoproterozoic-Neoproterozoic continental margin；III—Bainaimiao-Wenduermiao Precambrian-Early Paleozoic tectono-magmatic belt；IV—AershanTu-Chagandaer Late Paleozoic tectono-magmatic belt；V—Ailigemiao-Xilinhot Precambrian intermediate block；VI—Erenhot-Hegen Mountain Late Paleozoic ophiolitic melange；Siberian Plate：VII—Abag Banner-Dong Ujimqin Banner Late Paleozoic tectono-magmatic belt；VIII—Chaganobo-Aououte-Chaobuleng Early Paleozoic tectono-magmatic belt；IX—South Mongolia Early Paleozoic tectono-magmatic belt；1—mafic-ultramafic intrusion；2—paleo-plate suture；3—polymetallic deposit

环带状或皮壳状结构、次生假像结构、次生交代残留结构为主，矿石构造以细脉浸染状、条带状构造为主，次为蜂窝状、团块状、角砾状等构造。

阿尔哈达银多金属矿床位于1017高地矿床北东向约 110 km 处，矿区范围内出露的地层主要有上泥盆统安格尔音乌拉组 and 上侏罗统布拉根哈达组，其中上泥盆统安格尔音乌拉组火山-沉积岩分布广泛，占全部基岩出露面积的 90%，为阿尔哈达铅-锌矿床最主要的容矿围岩(张万益等, 2007)。矿区范围内各种类型的褶皱和断裂构造分布广泛，其中部分褶皱和断层与铅锌矿体具有密切空间分布关系，为重要的导矿和控矿构造。矿区范围内产出规模、各种延伸方向和不同形态的断裂构造分布广泛，其中以北东向、北西向和北东向 3 组断裂最为发育，并且与铅锌矿体具有密切空间分布关系。矿区内已圈定 3 条含银多金属矿脉带，矿体主要产于上泥盆统安格

尔音乌拉组的北西向断裂破碎带中，矿体具雁行排列、局部交叉产生的特征，以盲矿体为主。矿石工业类型主要有原生硫化物型和氧化物型 2 种，其中前者占整个矿石量的 96%。矿石中常见构造有块状构造、角砾状构造、浸染状构造、脉状构造和条带状构造，常见矿石结构有晶粒结构(自形、半自形和它形粒状)、包晶结构、交代残余结构和碎裂结构以及固溶体分离结构。

## 2 矿区地质特征

### 2.1 地层

矿区范围内基岩出露较差，除大部分被第四系覆盖外，出露地层主要为上泥盆统安格尔音乌拉组(图 2)，为一套含动、植物化石的陆相及滨海相砂岩组合，以泥质粉砂岩、板岩、细砂岩、砂岩为主夹粉

砂岩、泥岩,局部地区粒度较粗,形成中粗粒长石砂岩、含砾中粗粒长石砂岩及砂质砾岩等;局部地区凝灰岩、硅质成分较多。上泥盆统安格尔音乌拉组是矿区的赋矿地层,部分银多金属矿体赋存在安格尔音乌拉组的北东向构造破碎带中。第四系由灰黑、灰绿、黄绿色砂质淤泥、粘土、砂土、砂砾组成(据齐立华等,2007<sup>①</sup>)。

## 2.2 构造

矿区位于西伯利亚板块东南缘查干敖包-奥尤特-朝不楞早古生代构造-岩浆岩带东段。地处查干敖包-东乌珠穆沁旗大断裂北侧,区内断裂发育,尤其是北东向及北西向断裂构造为控矿构造,为银多

金属矿的形成提供了有利空间。矿区内发育两组破碎带,分别编号为 I 号破碎带和 II 号破碎带(图 2)。I 号破碎带位于工作区中部略偏东,总体走向北东,倾向 SE140°,倾角大于 70°,由南西 982 高地西部一直延伸到 1017 高地东北部,总体可见长度近 3 km,带宽几百米到 1 km 左右。

## 2.3 岩浆岩

区内岩浆活动频繁,岩石类型简单,主要为华力西中期酸性侵入岩(图 2)。从岩相变化看,中心相为中粗粒黑云二长花岗岩,边缘相为中细粒黑云二长花岗岩。中细粒黑云二长花岗岩呈岩株状产出,位于矿区中部,面积约 13 km<sup>2</sup>,另有约 2 km<sup>2</sup> 分布于工

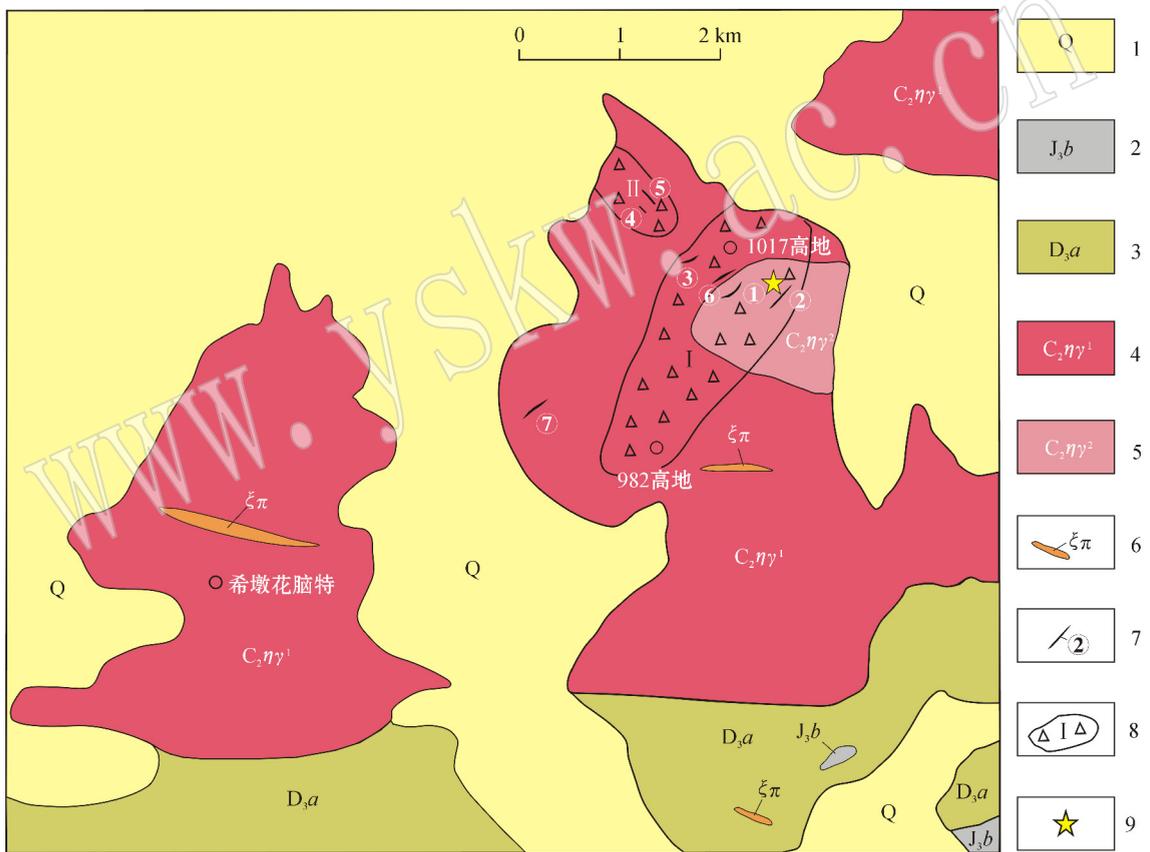


图 2 1017 高地银多金属矿床矿区地质简图[据齐立华等(2007)<sup>①</sup>修改]

Fig. 2 Simplified geological map of the mining area of the Highland 1017 Ag-polymetallic deposit (modified after Qi Lihua et al., 2007<sup>①</sup>)

- 1—第四系; 2—上侏罗统白音高老组; 3—上泥盆统安格尔音乌拉组; 4—晚石炭世中细粒黑云二长花岗岩; 5—晚石炭世中粗粒黑云二长花岗岩; 6—正长斑岩脉; 7—银多金属矿体; 8—破碎带; 9—采样位置
- 1—Quaternary; 2—Upper Jurassic Baiyingaolao Formation; 3—Upper Devonian Angeryinwula Formation; 4—Late Carboniferous medium-fine-grained biotite adamellite; 5—Late Carboniferous medium-coarse-grained biotite adamellite; 6—dike of syenite porphyry; 7—Ag-polymetallic deposit; 8—tectonic fracture zone; 9—sampling location

① 齐立华, 覃建西, 陈广宇, 等. 2007. 内蒙古自治区东乌珠穆沁旗1017高地银铅多金属矿普查总结. 编写单位: 中国人民武装警察部队黄金第四支队, 1~36.

作区东北部。中粗粒黑云二长花岗岩出露在矿区中部，面积约 1.6 km<sup>2</sup>，呈岛状被中细粒黑云二长花岗岩包围。中细粒黑云二长花岗岩体内发育蚀变破碎带，带内岩石具较强高岭土化、绿泥石化，银多金属矿体主要赋存在蚀变破碎带内。侵入岩体内脉岩主要有正长斑岩脉侵入其中，正长斑岩脉呈北西、近东西向产出，长 500~1 500 m，宽 20~30 m，脉体多为红褐色。

### 3 矿床特征

#### 3.1 矿体特征

目前区内发现的含银多金属矿(脉)体主要有 7 条，其中①、②、③和⑥号矿体产于 I 号破碎带中，④和⑤号矿体产在 II 号破碎带中，②和③是本矿区最主要的矿体。所有银多金属矿体走向与构造破碎带产状一致，呈脉状产出，围岩主要为中细粒黑云二长花岗岩，矿体与围岩界限不太清晰，呈渐变过渡关系(图 3)。其中②号矿体，长大于 260 m，宽大于 60 m，走向 NE65°，倾向 SE155°，地表倾角 25~35°，总体倾角 30°，矿体地表露头呈灰色略显绿，具较强硅化、褐铁矿化、方铅矿化，深部矿体呈灰白、灰黑、灰绿色，主要矿化有黄铁矿化、辉锑矿化、闪锌矿化、方铅矿化、黄铜矿化。③号矿体地表出露稳定，走向 NE56°，倾向 SE146°，可见长度 150 m 左右，宽 1 m 左右，脉体呈灰绿色、黑褐色、铅灰色，硅化强烈，金属矿化有方铅矿化、褐铁矿化及少量黄铁矿化。脉体与围岩界限清晰，围岩为中细粒黑云二长花岗岩。

#### 3.2 围岩蚀变

银多金属矿体主要赋存在中细粒黑云二长花岗岩的破碎带中，破碎带内岩石破碎强烈，多呈碎块，在矿体两侧高岭土化极强，最大厚度可达 20 m。围岩蚀变主要有硅化、铁白云石化、白云石化、绿泥石化、黄铁矿化、褐铁矿化、方铅矿化、高岭土化，其中硅化和黄铁矿化与银多金属成矿关系密切。

#### 3.3 矿石类型

地表矿石具有一定程度的氧化淋失，探槽中揭露到的矿石具有孔洞，呈蜂窝状，在孔洞中充填有褐铁矿和氧化的辉锑矿，在较大的褐铁矿团块中可见原生黄铁矿。一般情况下，地表浅部(0~84 m)为氧化矿，氧化带以下为原生矿，故矿石自然类型分为氧化矿石和原生矿石，主要为原生矿石。矿石工业类型主要为富硫化物石英脉型原生矿石和富硫化物蚀

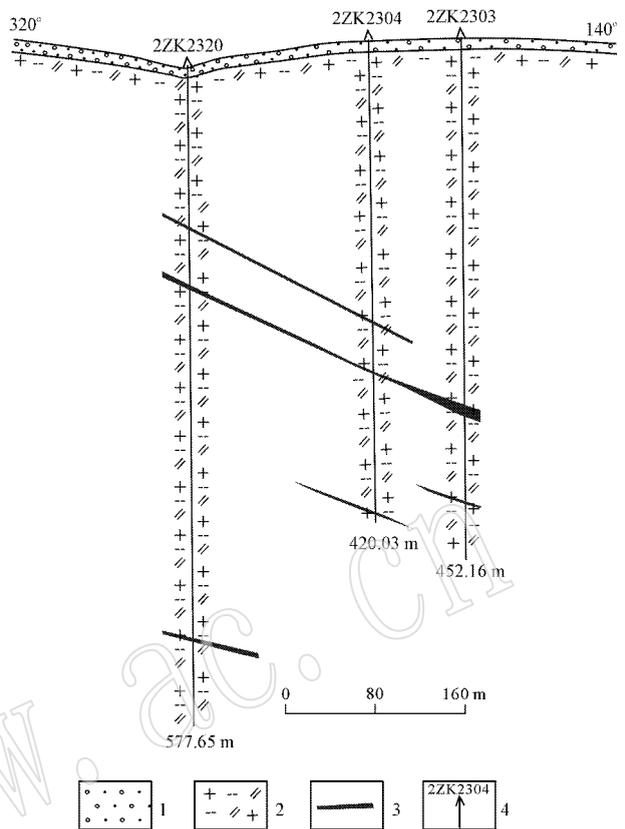


图 3 1017高地银多金属矿床②号矿体 A23 号勘探线剖面图

Fig. 3 Geological section along A23 exploration line of No. ② ore body in the Highland 1017 Ag polymetallic deposit  
1—第四系；2—黑云二长花岗岩；3—银多金属矿体；4—钻孔及编号  
1—Quaternary；2—biotite adamellite；3—Ag-polymetallic deposit；4—drill hole and its serial number

变黑云二长花岗岩型原生矿石(图 4a、4b)。

#### 3.4 矿石特征

##### 3.4.1 矿石矿物成份

矿石中矿石矿物主要有褐铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿(图 4c、4d)。脉石矿物主要有石英、绿泥石、钾长石、斜长石和黑云母等。

##### 3.4.2 矿石结构

依据矿石中的主要金属矿物和脉石矿物的结晶程度、形态及相互嵌布关系，矿石结构主要为粒状结构、碎裂结构。粒状结构矿石中，主要金属矿物黄铁矿呈自形—半自形晶粒状分布于脉石矿物中，银分布于石英粒间和黄铁矿晶体裂隙面中。碎裂结构矿石中，黄铁矿、石英等脆性矿物受应力作用被压碎，碎裂产生的裂隙被晚期矿物充填、胶结。

##### 3.4.3 矿石构造

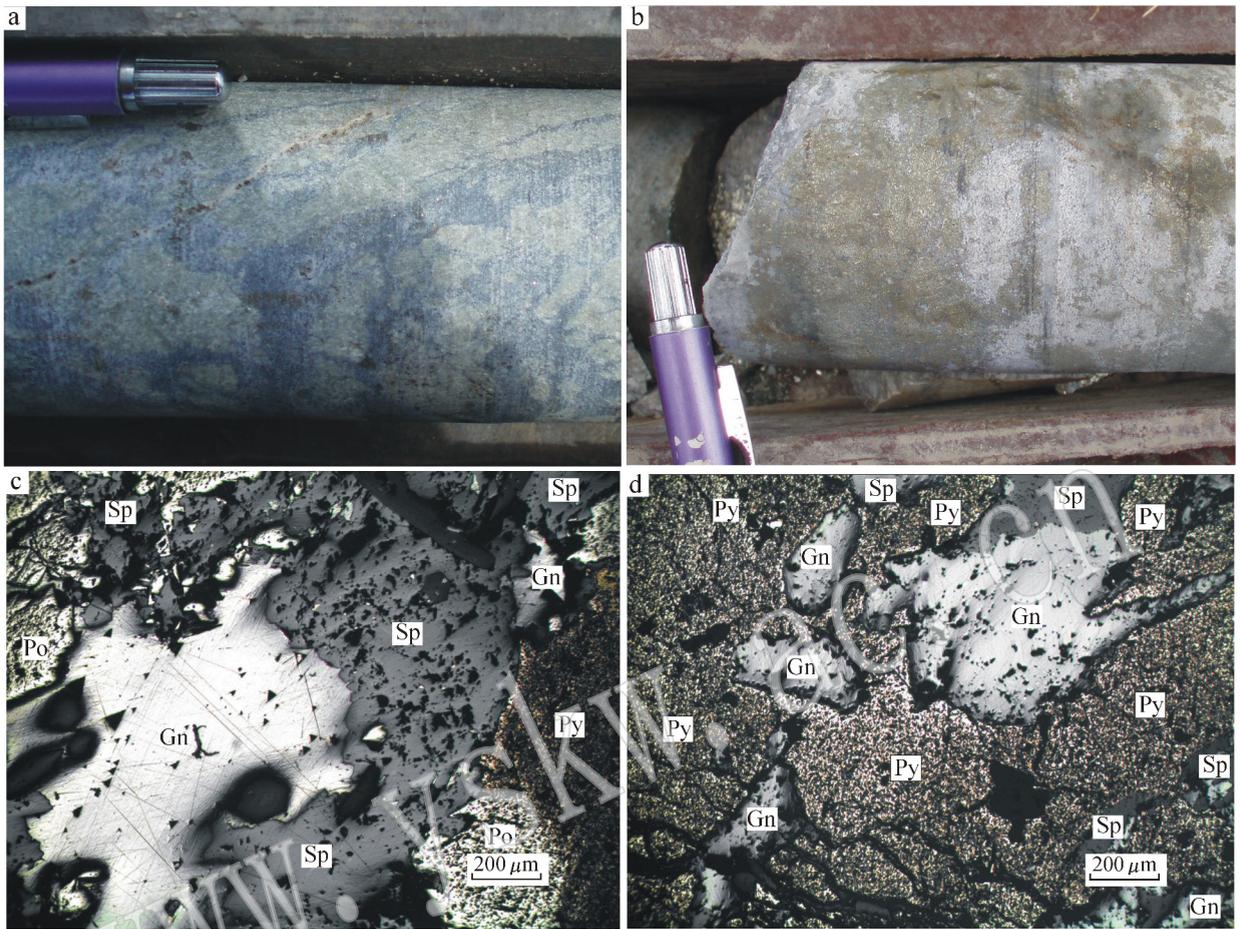


图4 1017高地银多金属矿床矿石标本及其镜下显微特征(镜下为单偏光照片)

Fig. 4 Rock specimens and their microscopic characteristics of the Highland 1017 Ag polymetallic deposit (plainlight)

a—蚀变二长花岗岩型矿石,主要硫化物为方铅矿和闪锌矿; b—蚀变二长花岗岩型矿石,主要硫化物为黄铁矿和闪锌矿; c—富硫化物原生矿石,闪锌矿局部交代黄铁矿,方铅矿局部交代闪锌矿; d—富硫化物原生矿石,方铅矿局部交代黄铁矿; Py—黄铁矿; Sp—闪锌矿; Gn—方铅矿; Po—磁黄铁矿

a—altered adamellite ore with galena and sphalerite as the main sulfides; b—altered adamellite ore with pyrite and sphalerite as the main sulfides; c—sulfide-bearing primary ore with pyrite partially replaced by sphalerite and sphalerite and partially replaced by galena; d—sulfide-bearing primary ore with pyrite partially replaced by galena; Py—pyrite; Sp—sphalerite; Gn—galena; Po—pyrrhotite

依据矿石中主要金属矿物与脉石矿物的分布特征,矿石构造主要为块状构造、浸染状构造、条带状构造。块状构造矿石中黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、辉铋矿等与脉石矿物的分布相对均匀,无定向排列。浸染状构造矿石中黄铁矿、方铅矿等金属矿物呈微细脉状、星点状和不均匀星点状与脉石矿物交生。条带状构造矿石中黄铁矿等金属矿物与脉石矿物呈不均匀条带状平行相间排列于矿石中。

### 3.5 成矿期及成矿阶段

本矿床成矿具有多阶段性。金属矿脉、石英脉和方解石脉都是热液活动形成的产物,根据它们的

相互切割关系及矿物之间充填、交代特征,可将矿床的成矿过程分为热液期和表生期。

热液期可进一步划分出3个成矿阶段:①早期绿泥石化、绢云母化成矿阶段。这是成矿热液活动的开始。②石英—多金属硫化物阶段。该阶段为成矿热液活动的主要阶段,也是银铅锌矿化的主要阶段,出现大量方铅矿、闪锌矿。主要矿物组合为石英+黄铁矿+方铅矿和闪锌矿+黄铁矿+石英。③碳酸盐化阶段。以碳酸盐化为标志,主要矿物组合为石英+方解石+黄铁矿。

表生期以强烈的褐铁矿化为特征。银、铅等有

益组分通过表生淋滤作用从被氧化分解的金属硫化物等载体矿物中析离出来,可形成铅矾等。

## 4 样品及测试方法

流体包裹体样品为采自1017银多金属矿床探矿钻孔岩芯中的矿化石英脉。将用于研究的样品制成包裹体片,然后在 Olympus BH-2 显微镜上观察、鉴定不同阶段和类型的流体包裹体,确定适合测温的流体包裹体。流体包裹体均一温度、盐度测定工作主要在中国地质大学流体包裹体实验室完成。测试仪器:英国产 Linkam THMSG-600 显微冷热台;可测温度范围:  $-196 \sim +600^{\circ}\text{C}$ ;精度:  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

S、Pb、H、O 同位素样品为采自1017银多金属矿床探矿钻孔(2ZK2303 和 2ZK2304)岩芯原生矿石中的硫化物,单矿物纯度 99% 以上。S、H、O 同位素由中国地质科学院矿产资源研究所同位素实验室分析测试,Pb 同位素由中国地质科学院地质研究所同位素实验室分析测试。S 同位素利用 MAT-253EM 型质谱计测定,分析精度为  $\pm 0.2\text{‰}$ ,相对标准 V-CDT;Pb 同位素比值用多接收器等离子体质谱法(MC-ICPMS)测定,所用仪器为英国 Nu Plasma HR,仪器的质量分馏以 Tl 同位素外标校正,样品中 Tl 的加入量约为铅含量的 1/2;H、O 同位素利用 MAT-253EM 型质谱计测定, $^2\text{H}$  的分析精度为  $\pm 2\text{‰}$ ,相对标准 V-SMOW, $^{18}\text{O}$  的分析精度为  $\pm 0.2\text{‰}$ ,相对标准 V-SMOW。

## 5 矿床地球化学特征

### 5.1 流体包裹体

#### 5.1.1 流体包裹体的产状及岩相学特征

本文共选择主要矿化阶段的 6 件样品磨制成厚约  $150 \mu\text{m}$  的两面抛光薄片,通过显微镜下鉴定,发现矿化石英脉中流体包裹体比较发育,主要为原生包裹体,个别为次生包裹体,假次生包裹体特征也不明显,分布不均匀,多为气液包裹体,少量多相包裹体,未见  $\text{CO}_2$  包裹体(图 5);包裹体大小多为  $2 \sim 10 \mu\text{m}$ ,气液包裹体气液比  $5\% \sim 15\%$ ;多相包裹体中矿物体积占包裹体体积  $10\% \pm$ ;包裹体呈米粒状、长条状、椭圆状和不规则状。

#### 5.1.2 包裹体温度和盐度特征

表 1 显示,6 件样品流体包裹体均一温度平均值为  $182.5 \sim 242.1^{\circ}\text{C}$ ,总体上属于中低温。图 6 表明,1017 高地银多金属矿床主要矿化阶段的石英包裹体完全均一温度总体上有一个峰值区,位于  $175 \sim 225^{\circ}\text{C}$  区间,同样单个样品也有类似的规律。流体包裹体盐度平均值为  $4.42\% \sim 11.46\%$ ,为中低盐度。由图 7 可以看出,投点绝大部分落在中低温度和中低盐度区域内,表明该矿床的成矿流体为中低温度和中低盐度的流体。

### 5.2 硫同位素

据该矿床矿石硫同位素组成分析结果(表 2)可以看出, $\delta^{34}\text{S}$  值比较均一,介于  $3.4\text{‰} \sim 8.0\text{‰}$  之间,

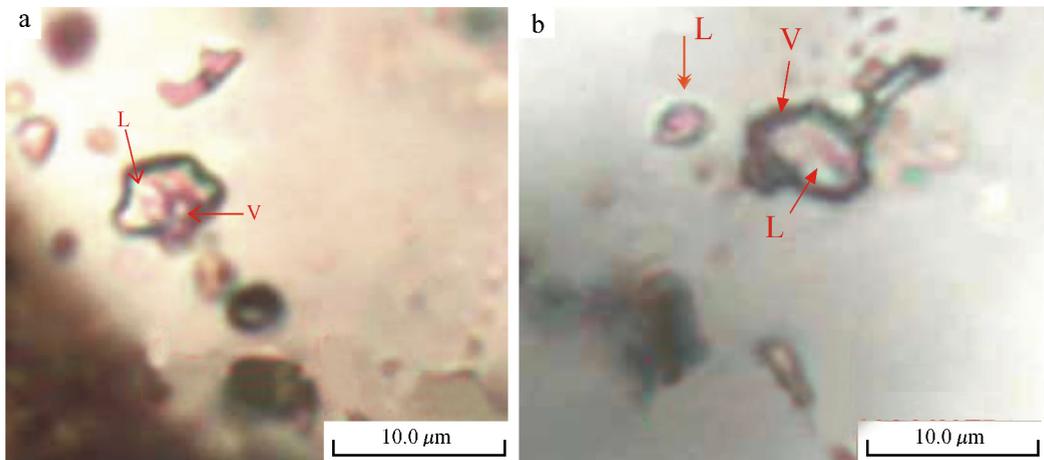


图 5 石英脉中的原生流体包裹体

Fig. 5 Photos of primary fluid inclusions in quartz-type ore

表 1 1017 高地银多金属矿流体包裹体温度、盐度测定结果

Table 1 Analytical results of temperature and salinity of fluid inclusions from the Highland 1017 Ag polymetallic deposit

样号	矿化阶段	矿石类型	测定矿物	测定包裹体数/个	完全均一温度/℃		盐度/%	
					范围	平均	范围	平均
DW-63	石英-硫化物阶段	石英脉型矿石	石英	16	169~321	183.5	8.95~12.58	6.94
DW-63a	石英-硫化物阶段	石英脉型矿石	石英	15	136~236	182.5	4.95~10.36	8.10
DW-66	石英-硫化物阶段	石英脉型矿石	石英	17	169~321	242.1	3.55~5.56	4.42
DW-67	石英-硫化物阶段	石英脉型矿石	石英	15	135~222	183.3	6.45~8.68	7.52
DW-67a	石英-硫化物阶段	石英脉型矿石	石英	12	151~232	202.5	10.24~12.96	11.46
DW-68	石英-硫化物阶段	石英脉型矿石	石英	16	134~404	242.1	7.17~13.18	10.63

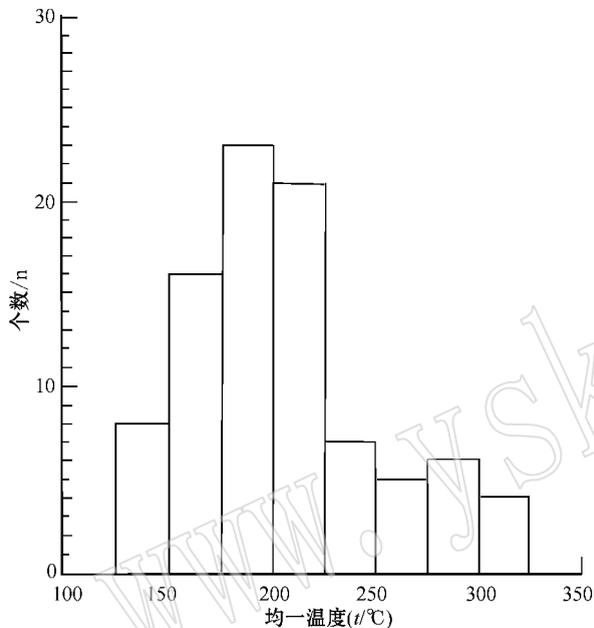


图 6 1017 高地银多金属矿床石英脉中流体包裹体均一温度直方图

Fig. 6 Histogram for homogenization temperature of fluid inclusions in quartz vein of the Highland 1017 Ag polymetallic deposit

均值 5.35‰,与幔源硫 ( $\delta^{34}\text{S}$  介于  $-3\text{‰} \sim 3.0\text{‰}$ ) (张玉泉等, 1995; 毕献武等, 2001) 比较, 有明显漂移, 暗示矿床矿石中硫的来源比较复杂。

从图 8 可以看出, 1017 高地银多金属矿床矿石硫同位素组成与本区的阿尔哈达银多金属矿床和吉林宝力格银多金属矿床矿石硫同位素组成比较接近。钱明等 (2006) 研究认为阿尔哈达银多金属矿床矿石硫来源于地层硫和岩浆硫的混合; 张万益等 (2009) 研究认为吉林宝力格银多金属矿床矿石硫来自沉积硫与岩浆硫的混合、平衡作用。据此, 可以认为, 1017 高地银多金属矿床矿石中硫的来源可能与岩浆硫随岩浆热液运移过程中受到沉积硫的明显混合叠加有关。

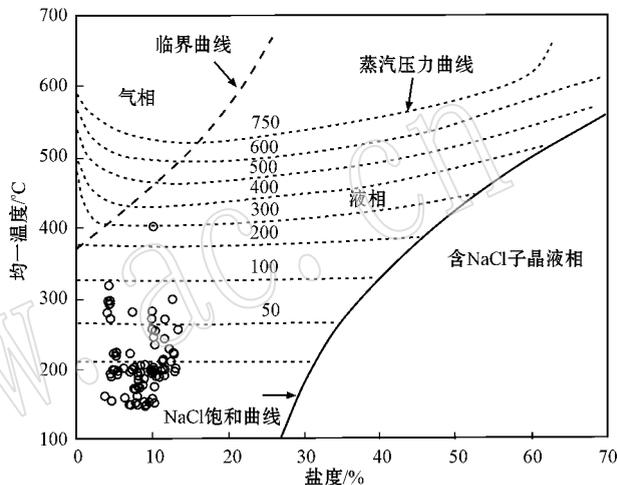


图 7 1017高地银多金属矿床石英脉中流体包裹体均一温度-盐度图(底图引自 Chou, 1987)

Fig. 7 Homogenization temperature and salinity diagram of fluid inclusions in quartz vein of the Highland 1017 Ag polymetallic deposit (base map after Chou, 1987)

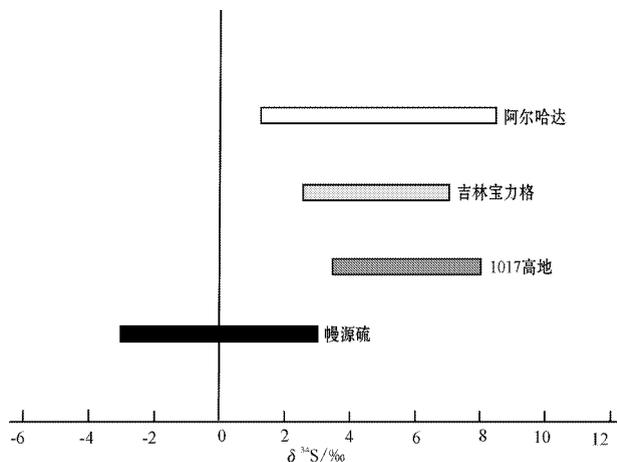


图 8 矿区内主要矿床硫同位素分布对比图

Fig. 8 Distribution of sulfur isotopes in the main deposit of the mining area

表 2 1017 高地银多金属矿床矿石硫同位素组成 %

Table 2 Ore sulfur isotopic composition of the Highland 1017 Ag polymetallic deposit

样号	矿化类型	测试矿物	$\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$	均值
DW-73	蚀变二长花岗岩型矿石	黄铁矿	6.6	5.35
DW-74	蚀变二长花岗岩型矿石	黄铁矿	6.8	
DW-75	蚀变二长花岗岩型矿石	方铅矿	6.6	
DW-77	蚀变二长花岗岩型矿石	黄铁矿	8.0	
DW-79	石英脉型矿石	方铅矿	5.7	
DW-82	石英脉型矿石	闪锌矿	7.4	
DW-93	石英脉型矿石	黄铁矿	3.4	
DW-99	石英脉型矿石	黄铁矿	4.7	
DW-101	石英脉型矿石	黄铁矿	5.1	
DW-105	石英脉型矿石	黄铁矿	3.8	
DW-106	石英脉型矿石	黄铁矿	3.7	
DW-180	石英脉型矿石	方铅矿	4.3	
DW-181	石英脉型矿石	方铅矿	3.4	

5.3 铅同位素

因为黄铁矿、方铅矿等硫化物中基本不含 U、Th 等放射性成因铅的母体放射性元素，其铅同位素比值主要取决于结晶过程中提供成矿流体的原始铅源和流体运移通道中参与水岩相互作用的赋矿围岩（张静等，2009）。1017高地银多金属矿床蚀变黑云二长花岗岩型和石英脉型矿石中的硫化物铅同位素分析结果见表 3。

从表 3 可以看出， $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  比值变化范围为 18.274 0 ~ 18.399 6，平均值为 18.338 4，高于 18.000 0； $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值为 15.539 9 ~ 15.561 6，平均值为 15.550 9，大于 15.300 0。 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  值为 38.036 3 ~ 38.177 2，平均值为 38.106 3，总体上都低于 39.000 0，显示钍铅微弱亏损。Th/U 值比较稳定，为 3.62 ~ 3.63； $\mu$  值变化范围为 9.36 ~ 9.39，平

表 3 1017 高地银多金属矿床矿石铅同位素组成

Table 3 Ore Pb isotopic composition of the Highland 1017 Ag polymetallic deposit

样号	测试矿物	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	模式年龄/Ma	Th/U	$\mu$	$\Delta\beta$	$\Delta\gamma$
DW-73	闪锌矿	38.177 2	15.561 6	18.399 6	126	3.62	9.39	16.15	31.83
DW-74	方铅矿	38.162 6	15.559 3	18.393 6	128	3.62	9.39	16.00	31.44
DW-75	闪锌矿	38.162 1	15.558 9	18.393 1	128	3.62	9.38	15.98	31.42
DW-77	方铅矿	38.157 7	15.557 2	18.391 2	127	3.62	9.38	15.87	31.30
DW-79	闪锌矿	38.036 3	15.539 9	18.285 9	183	3.62	9.36	14.74	28.02
DW-80	黄铁矿	38.043 9	15.541 7	18.288 8	183	3.62	9.36	14.85	28.23
DW-102	黄铁矿	38.067 2	15.548 7	18.290 1	191	3.63	9.38	15.31	28.86
DW-103	黄铁矿	38.057 0	15.545 6	18.274 0	199	3.63	9.37	15.11	28.58
DW-181	方铅矿	38.092 9	15.545 0	18.329 5	156	3.62	9.36	15.07	29.55

注：①样品 DW-73、DW-74、DW-75 和 DW-77 为蚀变二长花岗岩型矿石，样品 DW-79、DW-80、DW-102、DW-103 和 DW-181 为石英脉型矿石；②计算  $\mu$  值所用常数  $\lambda_{238} = 1.551 25 \times 10^{-10}/\text{a}$ ，地球年龄  $t = 4.55 \times 10^9 \text{a}$ ；③ $\Delta\beta = (\beta - \beta_M/\beta_M) \times 1 000$ ， $\Delta\gamma = (\gamma - \gamma_M/\gamma_M) \times 1 000$ ， $\beta =$  样品的  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ， $\gamma =$  样品的  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ， $\beta_M =$  地幔的  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.33$ ， $\gamma_M =$  地幔的  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.47$ 。

均值为 9.37，明显高于正常铅  $\mu$  值范围（8.686 ~ 9.238）（张静等，2009）。以上表明，该矿床铅源相对钍铅微弱亏损，具有低放射成因下地壳或地幔铅的特点。

图 9 综合显示，样品投点主要分布于地幔演化线和造山带演化线之间，少量向上地壳演化线过渡；图 10 综合判别表明，样品投点主要分布于造山带与洋岛火山岩重合并叠加下地壳的区域；图 11 则进一步明确矿石的硫化物铅属地幔与地壳混合的俯冲带铅。据此综合分析可以认为，矿石的硫化物铅主要来自地壳深部的岩浆源区，伴随岩浆及其热液作用，不可避免地混入了部分富放射成因铅的地壳物质。这与硫同位素的分析认识形成呼应。

5.4 氢、氧同位素

1017高地银多金属矿床矿石氢氧同位素组成样品采自 1 号矿脉的含矿石英脉，测定结果列于表 4。

从表 4 中可见，1017高地银多金属矿床矿石  $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$  值介于 -103‰ ~ -125‰ 之间， $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$  值在 6.9‰ ~ 13.9‰ 之间。据 Clayton 等（1972）的计算公式， $1 000 \ln\alpha = \delta^{18}\text{O}_{\text{含水矿物}}(\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.4)$  式中  $\delta^{18}\text{O}$  含水矿物的测定对象为石英， $T$  代表形成均一温度（K），DW-82 取平均温度 213℃，将表 4 中的  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 、 $\delta\text{D}$  值投影于  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ - $\delta\text{D}$  关系图（图 12），可以看出，矿石样品投点主要落于大气降水与岩浆水之间的区域，而不是典型的初

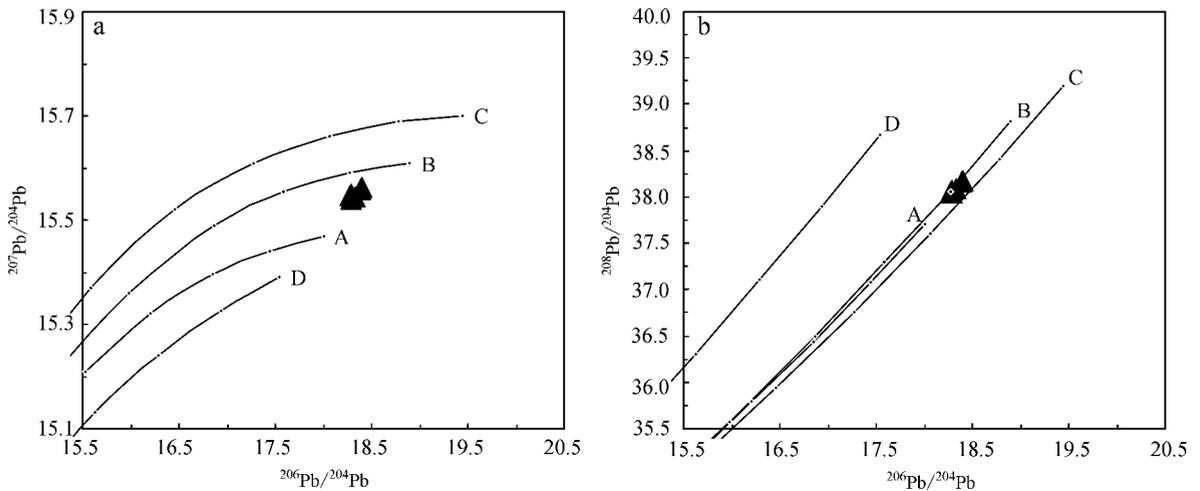


图 9 1017 高地银多金属矿床铅同位素模式图(底图据 Zartman 和 Doe, 1981)

Fig. 9 Pb isotope model diagram of the Highland 1017 Ag polymetallic deposit (base map after Zartman and Doe, 1981)

A—地幔; B—造山带; C—上地壳; D—下地壳

A—mantle; B—orogeny; C—upper crust; D—lower crust

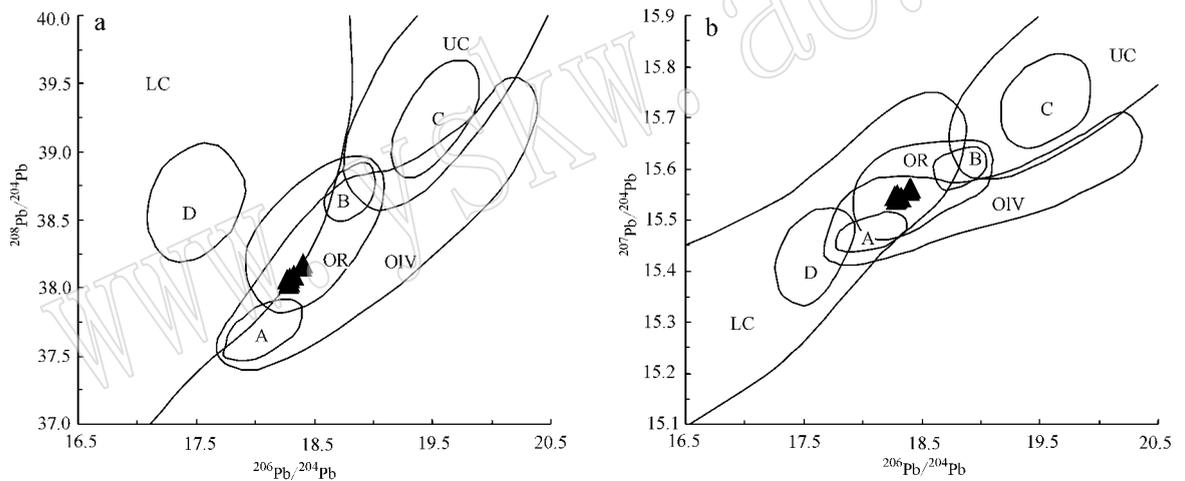


图 10 1017 高地银多金属矿床铅同位素构造环境判别图(底图据 Zartman 和 Doe, 1981)

Fig. 10 Pb isotope tectonic discrimination diagram of the Highland 1017 Ag polymetallic deposit (base map after Zartman and Doe, 1981)

LC—下地壳; UC—上地壳; OIV—洋岛火山岩; OR—造山带; A, B, C, D 分别为各区域中相对集中区

LC—lower crust; UC—upper crust; OIV—oceanic island volcanic rock; OR—orogeny; A, B, C, D represent the relative concentration areas in various regions

生岩浆水范围内,表明成矿流体伴随岩浆热液作用,混入了部分大气降水,导致成矿流体性质处于岩浆水与大气降水的过渡状态。

## 6 成矿机制分析

1017 高地矿床银多金属矿石中的绢云母  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  坪年龄  $T_p = 301.2 \pm 1.8 \text{ Ma} (2\sigma)$  (具体数据将另文发表),表明1017高地银多金属矿床形成的

时间为  $301.2 \pm 1.8 \text{ Ma} (2\sigma)$ 。华力西中晚期(318~295 Ma),无论是在华北地台北缘,还是沿西伯利亚板块南缘,内蒙古洋壳与古大陆块体继续发生多期次俯冲、碰撞和对接作用,受板块相互作用影响,在查干敖包、奥尤特和朝不楞一带构造-岩浆活动非常强烈(聂凤军等,2007)。前面对矿石流体包裹体和硫、铅、氢、氧同位素地球化学特征的系统分析表明,矿石中硫来源于沉积硫与岩浆硫或地幔硫的混合;矿石中硫化物的铅源主要来自地壳深部的岩浆源

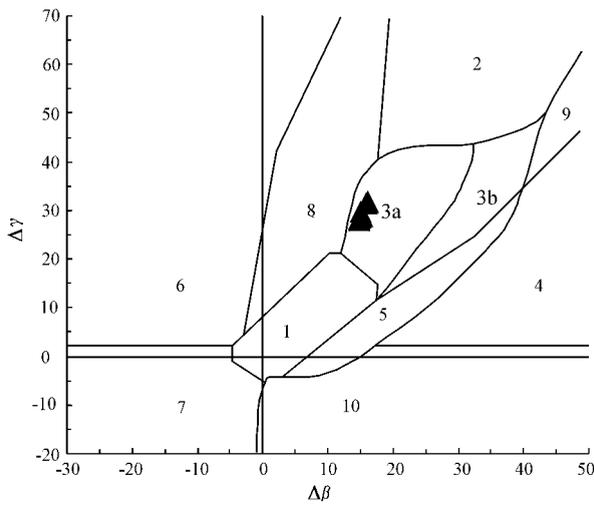


图 11 1017高地银多金属矿床铅同位素  $\Delta\gamma - \Delta\beta$  图解 (据朱炳泉等, 1989)

Fig. 11 Pb isotope  $\Delta\gamma - \Delta\beta$  diagram of the Highland 1017 Ag polymetallic deposit (after Zhu *et al.*, 1989)

1—地幔源铅；2—上地壳源铅；3—上地壳与地幔混合的俯冲带源铅；3a—岩浆作用；3b—沉积作用；4—化学沉积；5—海底热水作用铅；6—中深变质作用铅；7—变质作用下地壳源铅；8—造山作用铅；9—古老页岩上地壳源铅；10—退变质作用铅  
 1—Pb from mantle source；2—Pb from upper crust；3—Pb from subduction zone characterized by the mixture of the upper crust and the mantle；3a—magmatism；3b—sedimentation；4—chemical deposition；5—Pb produced by submarine hot water；6—Pb from middle-deep metamorphism；7—metamorphic Pb from the lower crust；8—Pb from orogeny；9—Pb from the upper crust on paleo-shales；10—Pb from retrograde metamorphism

表 4 1017高地银多金属矿床矿石氢、氧同位素组成 ‰  
 Table 4 Ore H and O isotopic composition of the Highland 1017 Ag polymetallic deposit

样号	矿化类型	测试矿物	$\delta D_{V-SMDW}$	$\delta^{18}O_{V-SMDW}$	$\delta^{18}O_{H_2O}$	均一温度/℃
DW-63	石英脉型矿石	石英	-104	13.9	1.1	183.5
DW-66	石英脉型矿石	石英	-103	6.9	-2.4	242.1
DW-67	石英脉型矿石	石英	-113	12.5	-0.3	183.3
DW-68	石英脉型矿石	石英	-125	12.1	2.8	242.1
DW-82	石英脉型矿石	石英	-117	7.6	-3.3	/

区，并混入了部分富放射成因铅的地壳物质；成矿流体具中低温度和中低盐度，水的性质显示岩浆水与大气降水的混合特征。结合区域构造岩浆演化与多金属成矿作用认为，华力西中期 ( $301.2 \pm 1.8$  Ma)，在1017高地地区，由于地幔深部岩浆底侵，触发下地壳部分熔融形成花岗质岩浆，继而伴随其上升侵位过程中的岩浆作用与成岩演化析出挥发分和岩浆热

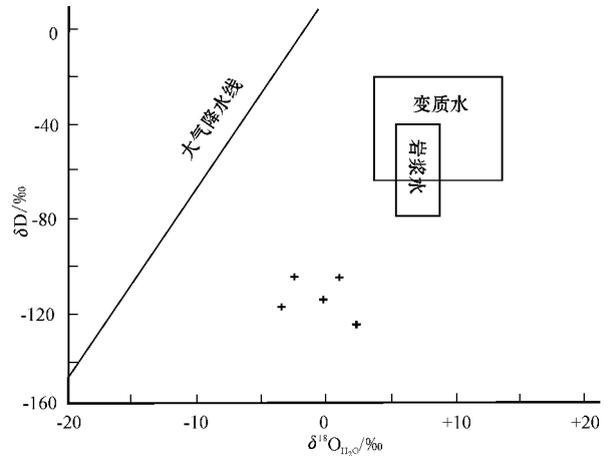


图 12 1017高地银多金属矿床氢氧同位素组成  $\delta D - \delta^{18}O_{H_2O}$  图解 (底图据 Hedenquist 和 Lowenstern, 1994)  
 Fig. 12  $\delta D - \delta^{18}O_{H_2O}$  diagram of the Highland 1017 Ag polymetallic deposit (base map after Hedenquist and Lowenstern, 1994)

液并与运移通道中的地壳岩石发生水岩相互作用，引发地层水、大气降水和地壳物质的混染叠加，从而改变成矿流体性质和组成，并在特定的环境条件下促进热液中成矿物质的沉淀富集，形成银、铅、锌、铁等多金属矿体。

综上所述，1017 银多金属矿床成矿物质来源于岩浆和地层的混合，成矿流体主要来自于岩浆热液和大气降水，其成因类型可归于中低温度、中低盐度的花岗质岩浆热液型银多金属矿床。

References

Bi Xianwu, Hu Ruizhong and Cornell D H. 2001. Trace element and isotope evidence for the evolution of ore-forming fluid of Yao an gold deposit, Yunnan Province, China [J]. *Geochimica*, 30(3): 264~272 (in Chinese with English abstract).

Chou I M. 1987. Phase relations in the system NaCl-H<sub>2</sub>O (III): solubilities of halite in vapor-saturated liquids above 445°C and redetermination of phase equilibrium properties in the system NaCl-H<sub>2</sub>O to 1 000°C and 1500 bars [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 15: 1965~1975.

Clayton R N, O'Neil J R and Mayeda T K. 1972. Oxygen Isotope Exchange between Quartz and Water [J]. *J. Geophys. Res.*, 77(17): 3 057~3 067.

Hedenquist J W and Lowenstern J B. 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits [J]. *Nature*, 370(18): 519~527.

Hong Dawei, Wang Shiguang, Xie Xilin, *et al.* 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 ).
- Jin Yan, Liu Yutang and 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 ).
- Nie Fengjun, Jiang Sihong, Zhang Yi, *et al.* 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, Jiang Sihong, Zhang Yi, *et al.* 2007. Metallogenic Studies and Prospecting Orientation in Central and Eastern Segments along China-Mongolia Border [ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 1 ~ 574( in Chinese ).
- Qian Ming and Gao Qunxue. 2006. The discussion about genesis of Arhada lead & zinc deposit in Dongwuqi County, Inner Mongolia, China [ J ]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 21( suppl. ): 70 ~ 73( in Chinese ).
- Zartman R E and Doe B R. 1981. Plumbotectonics—the model [ J ]. *Tectonophysics*, 75 : 135 ~ 163( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Jing, Yang Yan, Hu Haizhu, *et al.* 2009. C-S-Pb isotope geochemistry of the Yindonggou orogenic type silver deposit in Henan province [ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 25( 11 ): 2 833 ~ 2 842( in Chinese with English abstract ).
- Zhang Wanyi, Nie Fengjun, Jiang Sihong, *et al.* 2009. Magmatic Activity and Metallogeny of Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia [ M ]. Beijing: Geological Publishing House, 1 ~ 120( in Chinese ).
- Zhang Wanyi, Nie Fengjun, Liu Yan, *et al.* 2007. Studies on sulfur and lead isotope of the Arhada Pb-Zn-Ag deposit, Dong Ujimqin Qi ( County ), Inner Mongolia [ J ]. *Journal of Jinlin University ( Earth Science Edition )*, 37( 5 ): 868 ~ 883( in Chinese ).
- Zhang Yuquan and Xie Yingwen. 1995. Granitoid Geochemistry in Hengduashan Mountain Area [ M ]. Beijing: Science Press, 1 ~ 186 ( in Chinese ).
- Zhao Yiming, Wang Dawei and Zhang Dequan. 1994. Geological Setting and Exploration Model for the Polymetallic Deposits Occurring in the Southeastern Part of Inner Mongolia [ M ]. Beijing: Seismologic Publishing House, 1 ~ 234( in Chinese ).
- Zhu Bingquan, Liu Beiling and Li Xianhua. 1989. Nd-Sr-Pb isotopic characteristics and the model of three compositions mixing—four systems recycle in continent and oceanic mantle [ J ]. *Science in China ( Series B )*, 19( 10 ): 1 092 ~ 1 102( in Chinese ).

## 附中文参考文献

- 毕献武, 胡瑞忠, Cornell D H. 2001. 富碱侵入岩与金成矿关系: 云南省姚安金矿床成矿流体形成演化的微量元素和同位素证据 [ J ]. *地球化学*, 30( 3 ): 264 ~ 272.
- 洪大卫, 王式洗, 谢锡林, 等. 2003. 试析地幔来源物质成矿域——以中亚造山带为例 [ J ]. *矿床地质*, 22( 1 ): 41 ~ 55.
- 金岩, 刘玉堂, 谢玉玲. 2005. 内蒙古东乌珠穆沁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.
- 聂凤军, 江思宏, 张义, 等. 2004. 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*, 23( 2 ): 176 ~ 189.
- 聂凤军, 江思宏, 张义, 等. 2007. 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.
- 钱明, 高群学. 2006. 内蒙古东乌珠穆沁旗阿尔哈达铅锌矿区矿床成因探讨 [ J ]. *地质找矿论丛*, 21( 增刊 ): 70 ~ 73.
- 张静, 杨艳, 胡海珠, 等. 2009. 河南银洞沟造山型银矿床碳硫铅同位素地球化学 [ J ]. *岩石学报*, 25( 11 ): 2 833 ~ 2 842.
- 张万益, 聂凤军, 江思宏, 等. 2009. 内蒙古东乌珠穆沁旗岩浆活动与金属成矿作用 [ M ]. 北京: 地质出版社, 1 ~ 120.
- 张万益, 聂凤军, 刘妍, 等. 2007. 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 )*, 37( 5 ): 868 ~ 883.
- 张玉泉, 谢应雯. 1995. 横断山区花岗岩类地球化学 [ M ]. 北京: 科学出版社, 1 ~ 186.
- 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 [ M ]. 北京: 地震出版社, 1 ~ 234.
- 朱炳泉, 刘北玲, 李献华. 1989. 大陆与大洋地幔 Nd-Sr-Pb 同位素特征与三组分混合——四体系再循环模式 [ J ]. *中国科学 ( B 辑 )*, ( 10 ): 1 092 ~ 1 102.