

# 辽宁小佟家堡子金矿床成矿流体特征及来源讨论

王一存,王可勇,张淼,梁一鸿,李剑锋,付丽娟,王志高

(吉林大学地球科学学院,吉林长春 130026)

**[摘要]**小佟家堡子金矿床地处辽宁青城子矿田东南部,为一大型蚀变岩型矿床。矿床产于辽河群大石桥组三段白云石大理岩中,矿体呈层状、似层状产出。矿床由热液叠加改造作用形成,历经石英-黄铁矿、石英-碳酸盐两个阶段。流体包裹体研究表明,该矿床成矿流体属中低温、低盐 NaCl-H<sub>2</sub>O 型体系热液。碳氢氧同位素地球化学的研究表明,石英-黄铁矿阶段成矿流体氧同位素  $\delta^{18}\text{O}$  组成在 15.2‰~18.4‰,碳同位素  $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$  组成在 -7.4‰~-13.2‰,氢同位素  $\delta\text{D}$  组成为 -89.3‰~-92.2‰,反应该阶段成矿流体主要来自岩浆水并伴有少量的大气降水。石英-碳酸盐阶段成矿流体氧同位素  $\delta^{18}\text{O}$  组成在 17‰~17.8‰,碳同位素  $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$  组成在 -12.3‰~-13.5‰,氢同位素组成  $\delta\text{D}$  为 -87.7‰~-90.4‰,表明该阶段成矿流体主要来自大气降水。

**[关键词]** 小佟家堡子金矿 热液叠加 流体包裹体 同位素

**[中图分类号]** P618.51 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2015)01-0079-09

Wang Yi-cun, Wang Ke-yong, Zhang Miao, Liang Yi-hong, Li Jian-feng, Fu Li-juan, Wang Zhi-gao. Characteristics of hydrothermal superposition mineralization and fluid origins of the Xiaotongjiapuzi gold deposit in Liaoning Province[J]. *Geology and Exploration*, 2015, 51(1): 0079-0087.

小佟家堡子金矿床是19世纪90年代发现的大型蚀变岩型矿床,现有研究对该矿床的成因类型和物质来源提出了多种观点:刘国平等(2002)通过对绢云母单矿物<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar测年认为该金矿是燕山期成矿,但未分析流体对成矿的作用;安东(2004)通过对该矿床成矿阶段描述分析认为该金矿由喷流沉积形成,但未提大气降水对成矿的影响作用;刘红霞等(2006)仅通过矿石黄铁矿毒砂的富集形态判断矿床与热水沉积、变质热液有关,但是未对成矿流体来源进行分析讨论。限于研究程度,前人未对小佟家堡子金矿成矿流体来源进行细致的研究,本文将采用流体包裹体和同位素地球化学的研究方法,研究该矿床的矿化特征,流体来源及演化。

## 1 区域地质概况

小佟家堡子金矿床地处辽吉裂谷带中部,该裂谷带是在古华北克拉通基底上发展而形成的巨大的陆间裂谷(陈荣度,1984),经历了太古宙-元古宙

裂开-凹陷-闭合-隆起上升的复杂地质演化过程。区内出露地层为辽河群变质岩系(艾永福,2002)东西走向,由下到上分别为浪子山组-粘土岩为主;里尔峪组和高家峪组-中酸性火山岩火山碎屑岩为主;大石桥组和盖县组-以粘土岩、碳酸岩为主并夹有大理岩(陈荣度,1984;代军治,2006);主要侵入岩有古元古宙、印支期、燕山期花岗岩系。区内矿产资源丰富,主要有金、银、铅、锌、石灰石、大理石等品位高的矿体,其中最显著的为金、银、铅和锌矿。

## 2 矿区地质

### 2.1 地层

矿区地层大面积出露辽河群盖县组片岩,在店南沟罗圈门沟一带出露少量辽河群大石桥组白云石大理岩,第四系在矿区中部及北部大面积分布(图1)。

盖县组(Ptlg):在区内分布广泛,岩性以黑云母片岩为主,夹有少量矽线石云母片岩及黑云变粒岩

[收稿日期]2014-08-29;[修订日期]2014-11-7;[责任编辑]陈伟军。

[基金项目]中国地质调查局地质调查项目(1212011120156)资助。

[第一作者]王一存(1988年-),女,硕士研究生,主要研究方向:流体包裹体地球化学。E-mail:13930045680@163.com。

[通讯作者]王可勇(1965年-),男,博士生导师,主要从事热液矿床成矿作用机理及勘查找矿研究。E-mail:wangky@jlu.edu.cn。

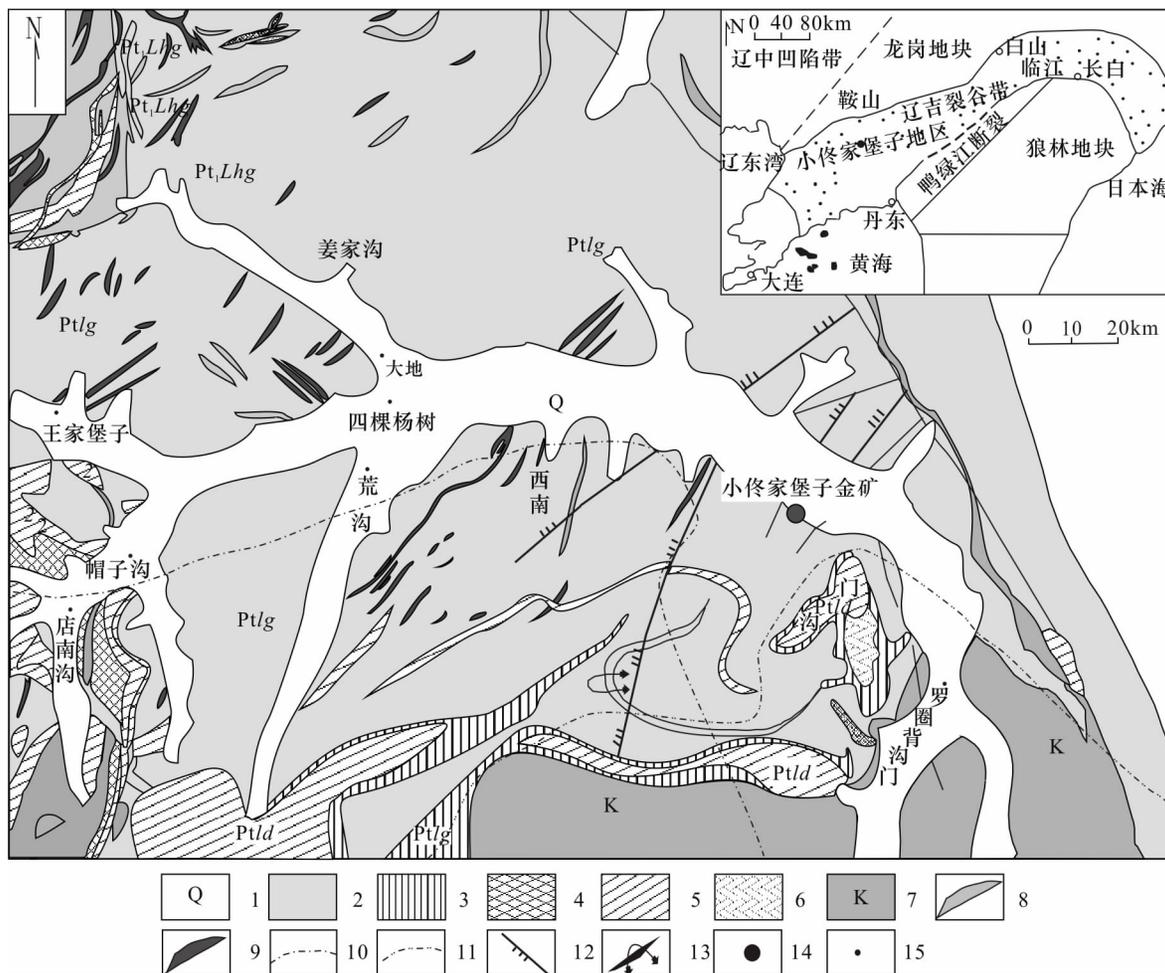


图1 小佟家堡子金矿区地质简图

Fig.1 Geological map of the Xiaotongjiapuzi gold deposit

1 - 砾石砂粘土及残坡积物; 2 - 辽河群盖县组黑云母片岩、矽线黑云母片岩、硅质 - 透闪变粒岩; 3 - 辽河群盖县组透辉 - 透闪变粒岩、黑云片岩、黑云变粒岩; 4 - 辽河群大石桥组石榴石云母片岩、黑云母片岩、斜长浅粒岩; 5 - 辽河群大石桥组白云石大理岩; 6 - 辽河群大石桥组矽线石云母变粒岩; 7 - 白垩纪火山岩; 8 - 闪长岩脉; 9 - 煌斑岩脉; 10 - 印支期花岗岩侵入范围, 11 - 燕山期花岗岩侵入范围; 12 - 断裂; 13 - 倒转向斜侧转向斜; 14 - 金矿; 15 - 其他矿点

1 - gravel sand clay and slope sediments; 2 - biotite schist, sillimanite-biotite schist, siliceous-tremolite leptynite, dolomite marble of Gaixian Formation, Liaoh Group; 3 - diopside-tremolite leptynite, biotite schist, biotite leptynite of Gaixian Formation, Liaoh Group; 4 - garnet biotite schist, mica schist plagioclase leucopleptite of Dashiqiao Formation Liaoh Group; 5 - dolomite marble of Dashiqiao Formation, Liaoh Group; 6 - sillimanite rock cloud masterbatch of Dashiqiao Formation, Liaoh Group; 7 - sillimanite mica schist; 8 - diorite; 9 - lamprophyre; 10 - range of granite invasion of Indo-China epoch; 11 - range of granite invasion of Yanshanian epoch; 12 - fracture; 13 - overturned syncline and lateroduction syncline; 14 - gold deposit; 15 - other deposit

等。走向近东西, 倾向北。其底部与大石桥组断层接触, 接触带处发育黑云变粒岩、透闪变粒岩。

大石桥组 (ptld): 区内大石桥组地层主要为第三岩性段第四、五岩性层, 走向近东西, 倾向北。其中三段五层 (ptld<sub>3</sub><sup>5</sup>) 以白云石大理岩为主, 局部夹有薄层透辉石大理岩, 该层是区内的主要含矿层位。在该层的中下部夹矽线石变粒岩薄层, 层厚 0.5 ~ 2.0 m。白云石大理岩呈白色, 中细粒粒状变晶结构, 层状构造, 白云石含量 80 ~ 95%, 另有少量石

墨、方解石及白云母等。该层在矿区内由西向东有逐渐变薄的特点, 层厚 40 ~ 60 m, 普遍硅化较强, 局部硅化强烈处发育有晶洞晶簇。

大石桥组三段四层 (ptld<sub>3</sub><sup>4</sup>) 分为三个亚层, 上部为石榴石、矽线石云母片岩; 中部为条带状大理岩; 下部为斜长浅粒岩。

其中石榴石矽线石云母片岩层: 层厚约 10 ~ 30 m。岩石呈灰色, 中 - 细粒鳞片变晶结构, 片状构造。矿物成分主要有石英、微斜长石、黑云母、白云

母、石榴石、矽线石等。与三段五层呈断层接触,沿接触破碎带产有较厚金矿体。

## 2.2 矿区构造特征

区内断裂褶皱较为发育,对热液成矿起了重要的控制作用。

### 2.2.1 褶皱

区内主要褶皱构造发育中等,主要表现为小佟家堡子北东-南西向倒转向斜,该褶皱轴向北西向,是区域性东西向榛子沟复背斜的次级褶皱;核部产状南西端向南东方向弯曲,略呈钩状,北东端向北摆动倾状,平面上平缓较开阔。

### 2.2.2 断裂

区内断裂构造较为发育,依据断裂与成矿的时间关系分为成矿期断裂与成矿后断裂,依据走向分为近东西、北西、北东向三组断裂。

成矿期断裂:主要为近东西向,向东变为北西-南东走向,为区内规模最大的断裂构造,亦是区内的主导容矿构造,主要以顺层间断裂带形式产出,局部与岩层略有交角。

成矿后断裂:区内成矿后断裂主要为北东、北西向两组,且表现形式多样,既有正断层又有平移断层,以及两者复合形式;构造形迹较明显,以挤压形式为主,对矿体均有破坏,但因其规模小,故破坏性不大,并在各中段探采工程中可见其切割矿体,因此造成矿体局部缺失且不连续。

## 2.3 岩浆岩

区内岩浆岩较为发育,矿区北西方向5 km处为印支期新岭花岗岩体,但区内未见成型岩体,只见有后期脉岩小规模断续产出,主要有伟晶岩,花岗斑岩、煌斑岩脉等,表明印支晚期-燕山期岩浆活动对区内金(银)矿床的控制作用较为明显,为金(银)矿脉发育提供有利空间,部分矿脉直接产于煌斑岩脉之内(张森,2012)。

## 3 矿化特征

### 3.1 矿体特征

区内共有两条金矿体主要为蚀变黑云变粒岩型金矿体,呈层状,似层状,透镜状产出,分别由两条东西向含矿构造控制。

1号金矿体,规模较大,控制断续长500 m,延伸200~600 m,走向西部近EW向倾向北,东部变为NW向,顺层产于辽河群大石桥组三段四层片岩与五层大理岩接触蚀变带处,局部与地层呈小角度斜交,含矿围岩为硅化大理岩(图2)。矿体上盘为三

段五层大理岩,下盘为三段四层石榴石云母片岩,局部片岩缺失则为三段四层斜长浅粒岩(图3)。矿体倾向北及北东,倾角 $15^{\circ} \sim 30^{\circ}$ ,局部略陡。矿体铅直厚度1~11 m, Au平均品位 $5.18 \times 10^{-6}$ 。

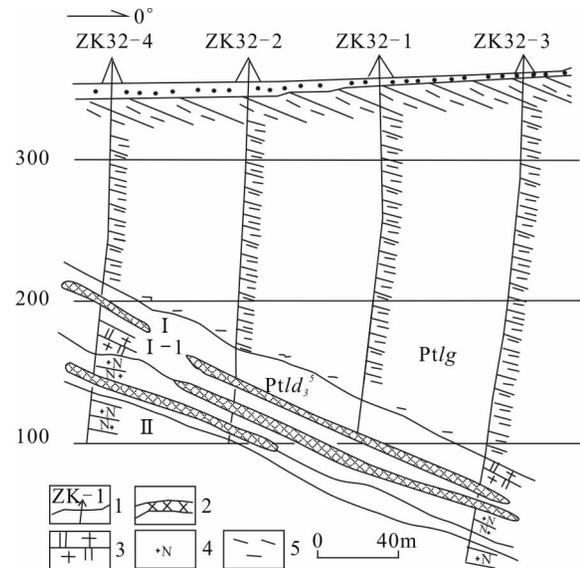


图2 小佟家堡子金矿床钻孔剖面图

Fig. 2 Xiaotongjiapuzi gold deposit cross section of drilling hole

1 - 钻孔及编号; 2 - 矿体; 3 - 硅化大理岩; 4 - 变粒岩; 5 - 片岩  
1 - drilling hole and number; 2 - ore-body; 3 - silicified marble; 4 - leptynite; 5 - schist

2号金矿体,由上述成矿期东西向含矿构造控制,呈层状产于大石桥组大理岩与盖县岩组黑云片岩构造蚀变带内(图2),含矿岩性主要为硅化蚀变大理岩。矿体极不连续,局部随着大石桥岩组三段五层大理岩变薄,并与1号矿体合二为一,故本文对2号金矿体不再多加叙述,下文所有描述均为1号金矿体。

### 3.2 矿石特征及围岩蚀变

区内金矿化主要以浸染、细脉浸染蚀变岩型为主,矿石类型分为多金属硫化物型、硅化大理岩型及石墨化-硅化云母片岩型等3类。金矿石矿物成分较简单,金属矿物含量较少,含量占矿物中的平均含量3.05%。

脉石矿物是构成矿石的主体,属贫硫化物的矿石。金属矿物主要为黄铁矿、毒砂,微量元素为白铁矿、黄铜矿、闪锌矿。

黄铁矿:黄铁矿交代毒砂成骸晶结构,粒径略粗在0.1~1 mm,有明显的重结晶作用所形成的镶边结构,间隙有金矿物呈浸染状或与中粒毒砂呈细脉状、团块状产出(图4c)。该类黄铁矿含金性好,平

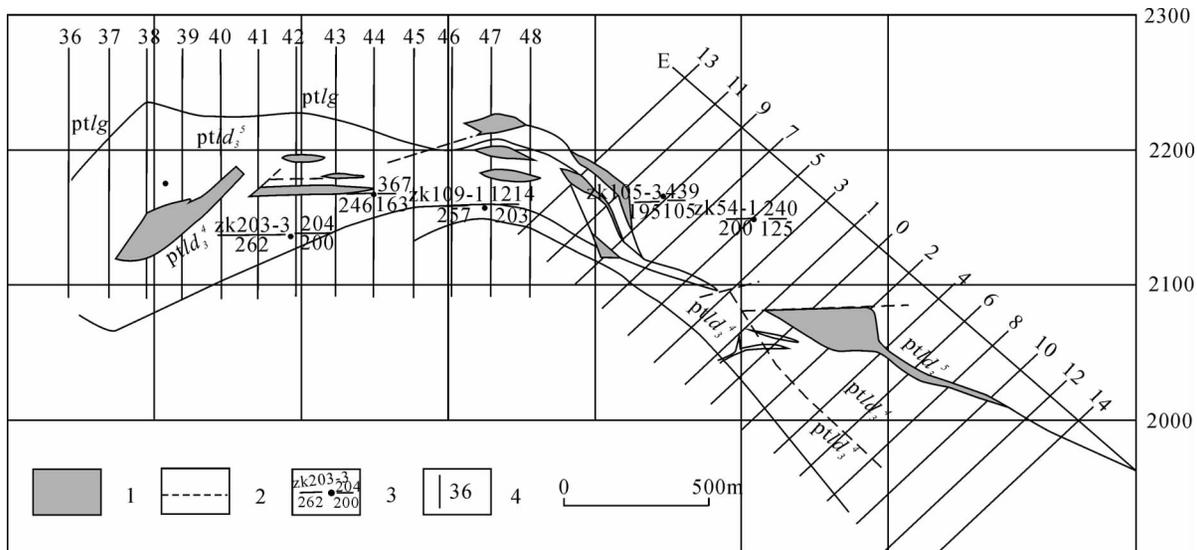


图3 小佟家堡子金矿区 240 米中段平面图

Fig. 3 Xiaotongjiapuzi gold deposit 240 m midpiece planar graph

1 - 矿体; 2 - 断层; 3 - 钻孔; 4 - 勘探线  
 1 - ore-body; 2 - fault; 3 - drill hole; 4 - exploration line

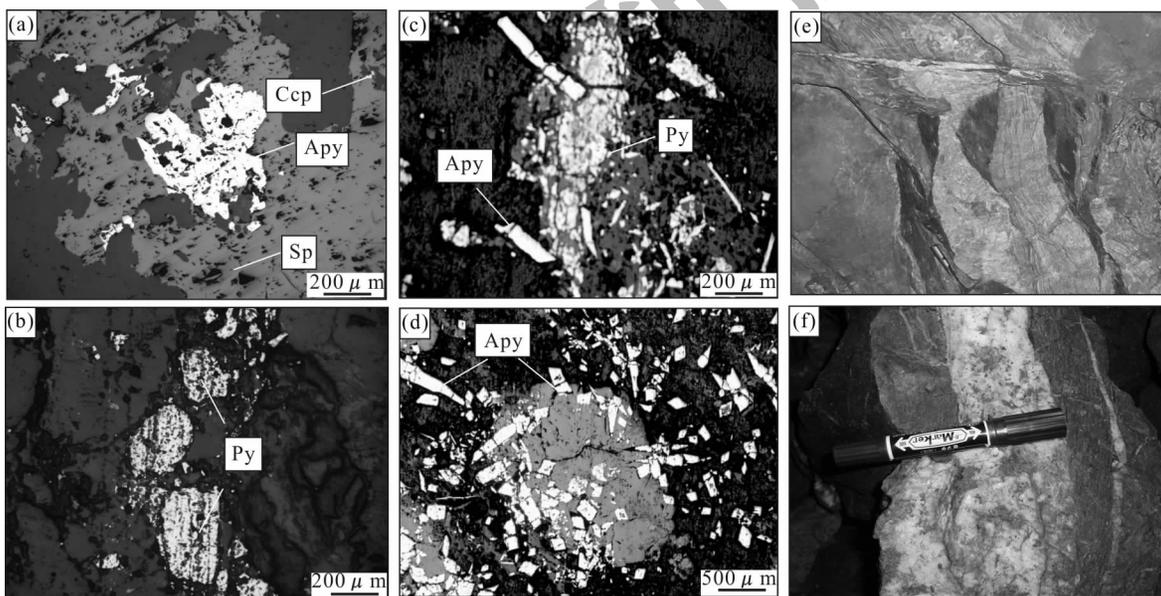


图4 脉状矿石标本及显微照片

Fig. 4 Vein ore samples and micrograph

a、d - 闪锌矿交代毒砂成交代残余; b - 黄铁矿呈半自形结构; c - 黄铁矿交代毒砂成骸晶结构; e、f - 石英 - 碳酸盐脉切穿石英 - 黄铁矿脉; Py - 黄铁矿; Apy - 毒砂; Sp - 闪锌矿; Ccp - 黄铜矿  
 a and d - metasomatic relict arsenopyrite by sphalerite; b - subhedral pyrite structure; c - metasomatic relict arsenopyrite by pyrite structure; e and f - quartz-carbonate orebody cross quartz-pyrite orebody; Py - Pyrite; Apy - Arsenopyrite; Sp - Sphalerite; Ccp - Chalcopyrite

均含金量为 0.15 ~ 0.99% (王宝林, 2012)。

毒砂: 高反射, 高硬度, 被闪锌矿交代成交代残余, 呈集合体或细脉状分布, 也见于石英小脉中, 颗粒间或毒砂与石英颗粒间可见金矿物, 毒砂一般含

金量为 0 ~ 0.33%, 由此可见毒砂也是金矿石中重要的载金矿物之一。

成矿期蚀变主要表现为硅化、绢云母化、白云石化、硫化物化等。

### 3.3 成矿期次

根据已有研究成果及本次实地调查,认为矿床在沉积-变质基础上热液改造而成。石英碳酸盐脉呈脉状,细脉状穿切石英黄铁矿脉且与围岩界限清晰(图4e、f)。依据矿物结构组合及矿脉的穿切关系可将该矿床分为两个阶段:石英-黄铁矿阶段,石英-碳酸盐阶段。

石英-黄铁矿阶段:主要金属矿物为黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂,其次为黄铜矿、闪锌矿,非金属矿物以石英为主。矿石结构:黄铁矿交代毒砂呈交代残余(图4c),矿石主要发育脉状构造、细脉浸染状构造,Au品位为 $4.66 \times 10^{-6} \sim 20.12 \times 10^{-6}$ 。

石英-碳酸盐阶段:主要金属矿物为黄铜矿-黄铁矿,但均少于前一阶段,其次有白铁矿-孔雀石,非金属矿物含量较多主要有方解石、石英。矿石结构:交代、包含结构,其中黄铁矿发育自形半自形结构(图4b),矿石主要发育稀疏浸染状构造、细脉浸染状构造,Au品位为 $3.25 \times 10^{-6} \sim 17.34 \times 10^{-6}$ 。本次研究将用流体包裹体测温岩相学及同位素地球化学来研究该矿床成矿流体来源。

## 4 矿物的流体包裹体分析及研究

为了更好的分析小佟家堡子金矿成矿流体的来源,笔者对所研究矿区两个成矿矿段的15件矿石样品进行了流体包裹体岩相学和显微测温研究。

### 4.1 流体包裹岩相学分析

矿脉中含有大量原生流体包裹体,石英可以很好的保存成矿时的流体包裹体且为透明矿物又便于测量,本次测温中选择石英脉并磨成测温片进行测温。本区中主要发育富气相和气液两相包裹体,不同类型的石英脉中发育的包裹体类型也有差别。在室温下I类(石英-黄铁矿叠加成矿阶段)石英中显示原生流体包裹体,由气泡及水溶液相两相构成,气液比一般为10~25%。包裹体大小为2~18  $\mu\text{m}$ ,多数在6~12  $\mu\text{m}$ 之间,其形态一般为较规则的椭圆形、长条状。在石英颗粒中,该类包裹体多随机分布(图5a、b、c);II类(晚期石英-碳酸盐阶段)石英中包裹体主要发育气液两相包裹体偶见富气相包裹体。室温下,包裹体也主要由气泡及水溶液相两相构成,气液比一般为5~20%。包裹体大小一般为4~12  $\mu\text{m}$ ,多数在5~10  $\mu\text{m}$ 之间,其形态多为长条形、椭圆形极不规则状(图5d、e、f)。在石英颗粒中,包裹体多随机分布,显示原生流体包裹体特征。

### 4.2 流体包裹测温学分析

流体包裹体测温研究工作在吉林大学地球科学学院流体实验室完成,使用的是Linkam THM-600型冷热台,测温区间为-180~600 $^{\circ}\text{C}$ ,误差在0.1~1 $^{\circ}\text{C}$ 之间。其分析研究如下:

石英-黄铁矿阶段石英中显示原生流体包裹体特征冷冻-升温过程中,测得包裹体冰点温度为-0.6~-8.8 $^{\circ}\text{C}$ ,计算相应盐度为1.05~12.62wt%  $\text{NaCl}_{\text{ep}}$ (据Hall *et al.*, 1988),盐度峰值为6.0~9.0wt%  $\text{NaCl}_{\text{ep}}$ ;包裹体均一温度为123.9~280.1 $^{\circ}\text{C}$ ,温度峰值为140~200 $^{\circ}\text{C}$ (图6),根据包裹体盐度及均一温度,估算包裹体密度为0.73~0.89 $\text{g}/\text{cm}^3$ 。

石英-碳酸盐阶段石英中包裹体冷冻-升温过程中,测得包裹体冰点温度为-2.9~-8.9 $^{\circ}\text{C}$ ,相应盐度为4.80~12.73wt%  $\text{NaCl}_{\text{ep}}$ ,峰值为5.5~8.5wt%  $\text{NaCl}_{\text{ep}}$ ;均一温度为118.6~296.7 $^{\circ}\text{C}$ ,温度峰值为160.0~180.0 $^{\circ}\text{C}$ (图6),估算密度为0.82~0.93 $\text{g}/\text{cm}^3$ 。

两个阶段的包裹体冰点温度差异较大并且共存,而且均一温度差异小、均一温度较低,wt% < 30,在室温时未在显微镜下观察到盐类子矿物(卢焕章, 2004),压力均小于1000Pa,有逐渐升高的趋势,表明矿床属沉积矿床后期发生改造,证明矿床成矿流体属中低温、低盐 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 型热液体系。

## 5 稳定同位素地球化学判断流体来源

### 5.1 氢氧同位素地球化学

为对该矿床成矿流体的来源做进一步讨论,本次工作还挑选出6件样品进行稳定同位素分析,其中JF-8a、b、c、d,为石英-黄铁矿阶段样品,JF-10a、b为晚期石英-碳酸盐阶段样品。实验在核工业地质矿产研究所实验室中心完成,分析结果见表1。

$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}} - \delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 图解上,石英-黄铁矿阶段部分样品落在紧靠张理刚1985年提出的金、铜系列岩浆热液水范围,呈线状分布的特点,表明同生水与围岩的碳氧化物、硫化氢或含水的表明部分样品发生了氧同位素漂移效应,逐渐接近雨水线的趋势。晚期石英-碳酸盐阶段的石英中 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 则明显靠近大气降水的范围(图7)。

### 5.2 碳氧同位素地球化学

小佟家堡子金矿床石英-黄铁矿阶段的 $\delta^{13}\text{C}$ 在 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}} - \delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$ 图解上,落入海相碳酸盐的下方,花岗岩右侧(图8);石英-碳酸盐阶段

表 1 小佟家堡子金矿区不同阶段石英样品 C、H、O 同位素分析结果

Table 1 Analysis results of C, H, O isotope in quartz samples by different stage of Xiaotongjiapuzi deposit

阶段	样品编号	岩石矿物	检测结果(‰)				温度(°C)
			$\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$	$\delta\text{D}_{\text{SMOW}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$	
石英-黄铁矿	JF-10a	黄铁矿-石英脉	-11.5	-89.3	15.5	6.043	200
	JF-10b	黄铁矿-石英脉	-7.4	-92.2	13.6	4.143	200
	JF-8a	黄铁矿-石英脉	-13.2	-91.3	15.2	5.743	200
	JF-8b	黄铁矿-石英脉	-9.4	-90.9	18.4	8.943	200
石英-碳酸盐	JF-8c	石英脉	-13.5	-87.7	17	7.543	180
	JF-8d	石英脉	-12.3	-90.4	17.8	8.343	180

注： $\delta^{18}\text{O}_{\text{Q-SMOW}}/\text{‰} - \delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O-SMOW}}/\text{‰} = 3.38 \times 106/T^2 - 2.9$  ( $T$  为均一温度的绝对温度值)。

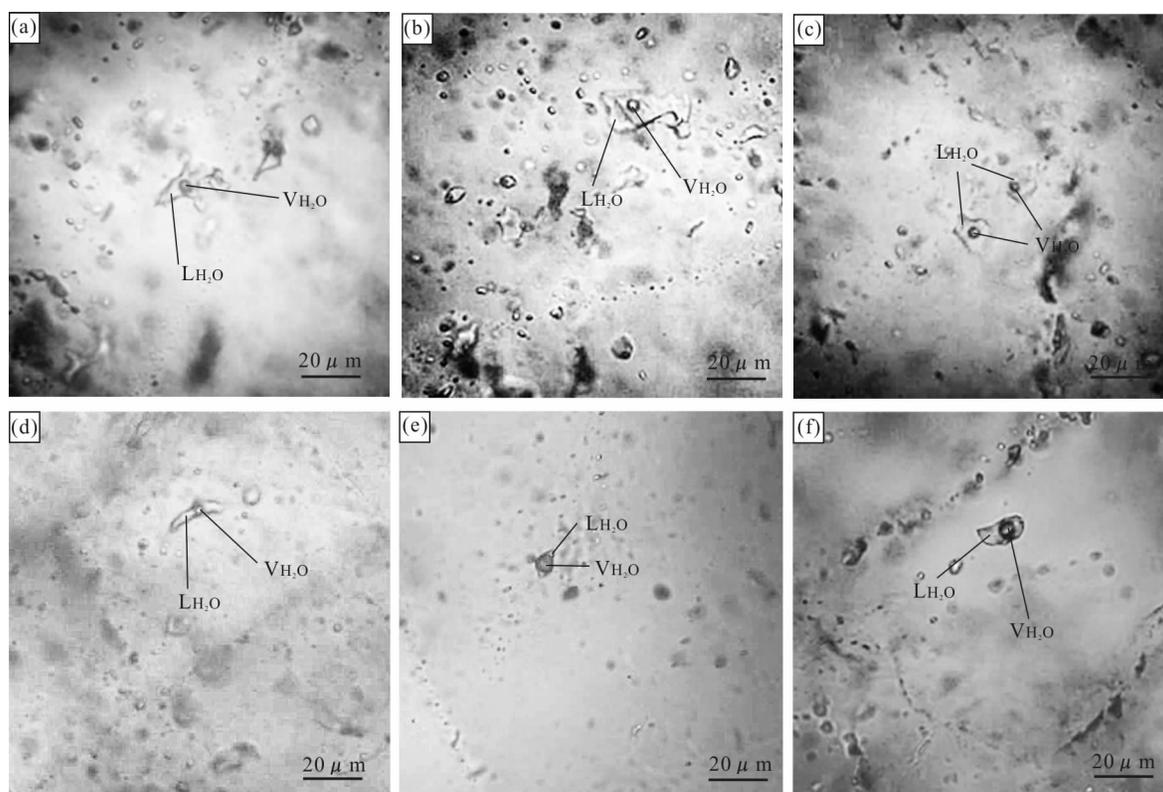


图 5 a、b、c - 石英-黄铁矿阶段气液两相包裹体；d、f - 石英-碳酸盐阶段气液两相包裹体；e - 石英-碳酸盐阶段富气相包裹体

Fig. 5 a, b and c - gas-liquid inclusion in quartz-pyrite stage; d and f - gas-liquid inclusion in quartz-carbonate stage; e - gas-enriched inclusion in quartz-carbonate stage

的  $\delta^{13}\text{C}$ , 样品落入靠近沉积有机物脱羟基作用趋势线左侧, 与  $\delta^{18}\text{O}$  呈负相关。两个阶段均在淡水碳酸盐 (+5 ~ -15) 和海相非海相有机物 (-5 ~ -30) 中, 表明有机物晚期的流体在大气降水的作用下混入地层的物质影响成矿。

## 6 成矿流体来源讨论

在  $\delta\text{D}$  对  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  坐标图(图 7)中,  $\delta^{18}\text{O}$  值有很

大变化, 反映出由岩浆水向靠近大气降水线的“ $\delta^{18}\text{O}$ ”漂移。矿区南临吕梁期大顶子岩体, 据年代学分析, 得出  $214 \pm 2\text{Ma}$  的分析结果(吴福元等, 2005), 证实其为晚三叠-早侏罗世岩浆活动的产物。因此, 印支-燕山期的岩浆活动为金矿形成提供了重要的热液来源。“ $\delta^{18}\text{O}$ ”漂移表明成矿流体晚期低  $\delta^{18}\text{O}$  的大气降水增加, 也就是说漂移现象是大气降水成矿热液最主要的特点之一。

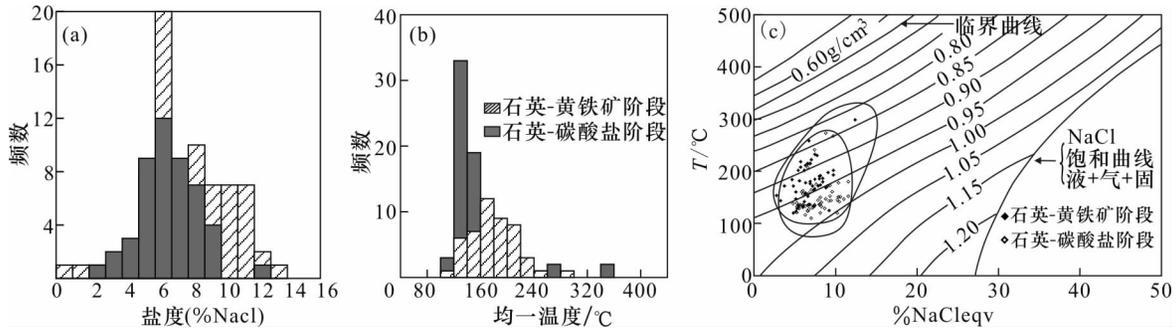


图 6 小佟家堡子金矿床石流体包裹体特征图

Fig. 6 Characteristic of fluid-inclusion of Xiaotongjiapuzi Deposit

A - 盐度直方图; B - 均一温度直方图; C - 温度与密度散点图

A - salinity histogram; B - homogenization temperature histogram; C - homogenization temperature vs density diagram

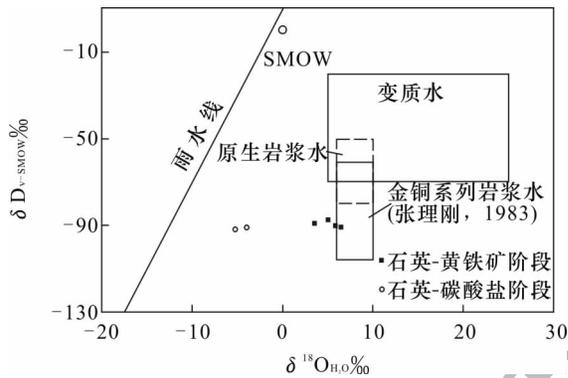


图 7 小佟家堡子金矿床石英氢氧同位素组成特征图解 (据张理刚 1985)

Fig. 7 H - O isotopic characteristics of quartz of xiaotongjiapuzi gold deposit (after Zhang, 1985)

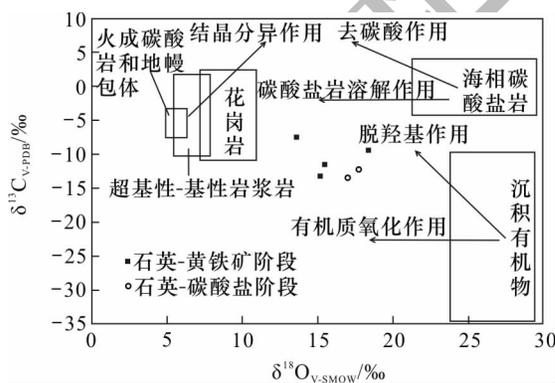


图 8 小佟家堡子金矿床石英碳氧同位素组成特征图解 (据张理刚 1985)

Fig. 8 C, O isotopic characteristics of quartz of Xiaotongjiapuzi gold depcsit (after Zhang, 1985)

两个阶段氢的同位素组成颇有特点及意义。由于各类岩石中尤其是碳酸盐等沉积岩中,它们是几

乎不含氢的,或所含的氢与大气降水相比,含量可以忽略不计。因此,当大气降水与这类岩石发生平衡交换时,主要是发生氧的同位素的交换,而导致“ $\delta^{18}O$  漂移”,但两阶段氢的同位素  $\delta D$  相对比较稳定,这说明成矿热液的  $\delta D$  值,基本上保持着局部地区原始大气降水的  $\delta D$  值。

在小佟家堡子金矿碳氧数据中,石英 - 黄铁矿阶段较低的碳氧值暗示是有机碳的来源,并伴有淡水碳酸盐的参与;石英 - 碳酸盐阶段碳值有所降低,意味着地层有机碳在成矿流体中作用增强,也就是说地层和大气降水在成矿流体的演化过程中发挥重要作用,反映成矿流体来源具有多元性的特点。

综上所述,碳氢氧同位素测试研究表明小佟家堡子金矿流体来源以早期印支 - 燕山期岩浆水为主,晚期以大气降水为主,且地层有机质为成矿流体提供了重要的物质来源。

### 7 结论

(1) 本次研究,依据矿物组合、流体包裹体岩相学表明小佟家堡子金矿属于热液矿床。

(2) 流体包裹体测温学,碳氢氧同位素研究表明小佟家堡子金矿床成矿流体由以岩浆热液为主向大气降水为主演化,成矿流体均属中低温、低盐 NaCl - H<sub>2</sub>O 型热液体系,地层在成矿作用过程中也提供一些成矿物质来源。

#### [References]

Chen Rong-du. 1990. The tectonic evolution of the Liaodong rift [J]. Regional Geology of China, (4):306 - 315 (in Chinese with English abstract)  
 Du Bao-feng, Wei Jun-hao, Shi Wen-jie, Zhao Shao-qing, Wang Yan-hui, Yi Jian. 2012. Comparisons between the Shilu Fe - Co - Cu

- (-Au) deposit in Hainan province and other IOCG-type deposits at home and abroad[J]. *Geology and Exploration*, 48(2):332-343 (in Chinese with English abstract)
- Hao Tong-shun, Wang Ke-yong, Piao Xing-hai, Yang Yan-chen, Bian Hong-yan. 2011. Geological characteristics and genesis of gold and silver deposits in Qingchengzi area[J]. *Gold*, (001): 25-28 (in Chinese with English abstract)
- Hu Hong-fei, Dai Shuang, Tang Yu-hu, Hou Wan-rong, Zhu Qiang, Liu Ping. 2008. Metallogenic in western rift zone Of the northern margin Of north China platform[J]. *Geology and Exploration*, 44(1):9-14 (in Chinese with English abstract)
- Li Jing, Chen Yan-jing, Li Qiang-zhi, Mao Shi-dong, Qin Yan, Guo Jun-hua, Nan Zheng-lu, Yang Rong-sheng. 2008. The C-H-O isotope of the Yangshan gold deposit, Gansu and its implication for the ore-fluid origin[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 24(4):817-826 (in Chinese with English abstract)
- Liu Guo-ping, Ai Yong-fu. 2002. Study on Ore-forming epoch of Xiaotongjiapuzi gold deposit, Liaoning province [J]. *Mineral Deposits*, 21(1): 53-57(in Chinese with English abstract)
- Liu Guo-ping, Ai Yong-fu. 1998. Study on petrological geochemistry and ore-forming condition of Xiaotongjiapuzi gold deposit in eastern Liaoning[J]. *Mineral Deposits*, 17(4):289-295 (in Chinese with English abstract)
- Liu Hong-xia, Kong Han-quan, Yang Yan-chen. 2006. Study on geologic characteristics and genesis of Xiaotongjiapuzi gold deposit Liaoning province[J]. *Gold*, 27(5): 13-16 (in Chinese with English abstract)
- Lu Huan-zhang. 2003. Ore forming fluids in recent ocean ridge sea floor mineralization: samples from 21°N, Pacific Ocean[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 19(2): 235-241 (in Chinese with English abstract)
- Pei Rong-fu, Xiang Jun-feng. 2012. Source and evolution of the ore-forming fluid in the Nannihu-Sandaozhuang Mo (W) deposit: constraints from C-H-O stable isotope data[J]. *Geology of China*, 39(6):1778-1789 (in Chinese with English abstract)
- Ren Yun-sheng, Wang Hui, Qu Wen-jun, Zhao Hua-lei, Chu Guang-qin. 2011. Re-Os IsoReds Isotopic dating of Molybdenite from Xiaoxinancha deposit in the Yanbian area and its geological significance[J]. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 36(4): 721-728 (in Chinese with English abstract)
- Sun feng-yue, Wang Li, Huo Liang, Wang Ke-yong. 2008. Fluid inclusion study on Wulaga gold deposit in Heilongjiang province and implications for ore genesis[J]. *Geology of China*, 35(6):1267-1273 (in Chinese with English abstract)
- Sun Yan-rong, Mu Zhi-guo, Cui Hai-ting. 2002. Carbon, Hydrogen, Oxygen isotope studies on imbedded old tree ring and paleoclimate reconstruction[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 38(2):294-301 (in Chinese with English abstract)
- Tian Yu-cai. 1999. Geology and metallogenesis of the Xiaotongjiapuzi gold deposit[J]. *Geological Exploration for Non-ferrous Metals*, 8(5):264-269 (in Chinese with English abstract)
- Wu Fu-yuan, Yang Jin-hui, Liu Xiao-ming. 2005. Geochronological framework of the Mesozoic granitic magmatism in the Liaodong peninsula, northeast China[J]. *Geological Journal of China Universities (in Chinese)*, 11(3):305-317 (in Chinese with English abstract)
- Wang Ke-yong, Zhang Chun-yan, Pan Yue-ming, Zhang Xiao-dong. 2008. Geochemical characteristics of ore-forming fluids of the Linglong gold deposit in Shandong province[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science edition)*, 38(2): 194-201 (in Chinese with English abstract)
- Wu Kai-xing, Hu rui-zhong, Bi Xian-wu, Peng Jian-tang, Tang Qun-li. 2002. Ore lead isotopes as a tracer for ore-forming material sources: a review[J]. *Geology-Geochemistry*, 30(3): 73-81 (in Chinese with English abstract)
- Xue chun-ji, Chen Yu-chuan, Lu Yuan-fa, Li Hua-qing. 2003. Geological characteristics and geological significance of gold and silver deposits in Qingchengzi area[J]. *Mineral Deposits*, 22(2):177-184 (in Chinese with English abstract)
- Yang Fu-quan, Yan Sheng-hao, Qu Wen-jun, Zhou Gang, Liu Feng, Geng Xin-xia, Liu Guo-ren, Wang Xiang. 2010. The fluid inclusions and C, H and O isotopic geochemistry of the Mineralized zone No. 1 at the Halasu copper deposit[J]. *Xijiang Earth Science Frontiers*, 17(2):359-374 (in Chinese with English abstract)
- Yang Zhen-qiang, Chen Kai-xu. 1999. Carbon isotope in sedimentary strata and new explanation for the origin of ore-bearing anoxic basins [J]. *Sedimentary Facies and Paleogeography*, 19(6): 21-28 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Jing, Yan Guang-pu. 2005. The Henan province C-H-O isotope systematics of the Yindonggou[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 21(5):1359-1364 (in Chinese with English abstract)
- Zhang Sen, Zhang Di, Sha De-xi, Kou Lin-lin, Zhao Dong-fang. 2012. Metallogenic characteristics and genesis of the gold(silver) mineralization in Linjiasandaogou-Xiaotongjiapuzi area, Eastern Liaoning Province[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science edition)*, 42(3): 725-732 (in Chinese with English abstract)

## [附中文参考文献]

- 陈荣度. 1990. 辽东裂谷的地质构造演化[J]. *中国区域地质*, (4): 306-315+333
- 杜保峰, 魏俊浩, 石文杰, 赵少卿, 王艳慧, 易建. 2012. 海南石碌铁钴铜(金)矿床与国内外 IOCG 型矿床的对比研究[J]. *地质与勘探*, 48(2):332-343
- 郝通顺, 王可勇, 朴星海, 杨言辰, 边红燕. 2011. 辽宁青城子地区金、银矿床地质特征及其成因[J]. *黄金*, (001): 25-28
- 胡鸿飞, 戴霜, 唐玉虎, 侯万荣, 朱强, 刘萍. 2008. 华北板块北缘西段裂谷系金矿床成矿特征及成因探讨[J]. *地质与勘探*, 44(1):9-14
- 李晶, 陈衍景, 李强之, 毛世东, 秦艳, 郭俊华, 南争路, 杨荣生. 2008. 甘肃阳山金矿碳氢氧同位素与成矿流体来源[J]. *岩石学报*, 24(4):817-826
- 刘国平, 艾永富. 2002. 辽宁小佟家堡子金矿床成矿时代探讨[J]. *矿床地质*, 21(1): 53-57
- 刘国平, 艾永富. 1998. 辽东小佟家堡子金矿岩石地球化学及成矿条件研究[J]. *矿床地质*, 17(4): 289-295
- 刘红霞, 孔含泉, 杨言辰. 2006. 辽宁小佟家堡子金矿床地质特征

- 及成因研究[J]. 黄金, 27(5): 13-16
- 卢焕章. 2003. 现代海底烟囱中流体包裹体的研究[J]. 岩石学报, 19(2): 235-241
- 裴荣富, 向君峰. 2012. 南泥湖三道庄钼钨矿床成矿流体的碳氢氧同位素研究及其启示[J]. 中国地质, 39(6): 1778-1789
- 任云生, 王辉, 屈文俊, 赵华雷, 褚广勤. 2011. 延边小西南岔铜金矿床辉钼矿 Re-Os 同位素测年及其地质意义[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 36(4): 721-728
- 孙丰月, 王力, 霍亮, 王可勇. 2008. 黑龙江乌拉嘎大型金矿床流体包裹体特征及矿床成因研究[J]. 中国地质, 35(6): 1267-1273
- 孙艳荣, 穆治国, 崔海亭. 2002. 埋藏古木树轮碳, 氢, 氧同位素研究与古气候重建[J]. 北京大学学报(地球科学版), 38(2): 294-301
- 田豫才. 1999. 辽东小佟家堡子金矿床地质特征及成矿机理探讨[J]. 有色金属矿产与勘查, 8(5): 264-269
- 吴福元, 杨进辉, 柳小明. 2005. 辽东半岛中生代花岗岩浆作用的年代学格架[J]. 高校地质学报, 11(3): 305-317
- 王可勇, 张春燕, 樊岳铭, 张晓东. 2008. 山东玲珑金矿床成矿流体地球化学特征[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 38(2): 194-201
- 吴开兴, 胡瑞忠, 毕献武, 彭建堂, 唐群力. 2002. 矿石铅同位素示踪成矿物质来源综述[J]. 地质地球化学, 30(3): 73-81
- 薛春纪, 陈毓川, 路远发, 李华芹. 2003. 辽东青城子矿集区金、银成矿时代及地质意义[J]. 矿床地质, 22(2): 177-184
- 杨富全, 闫升好, 屈文俊, 周刚, 刘峰, 耿新霞, 刘国仁, 王祥. 2010. 新疆哈腊苏铜矿床 I 号矿化带流体包裹体和碳氢氧同位素地球化学[J]. 地学前缘, (2): 359-374
- 杨振强, 陈开旭. 1999. 沉积地层中成矿作用的碳同位素特征和含矿盆地成因新观点[J]. 岩相古地理, 19(6): 21-28
- 张静, 燕光谱. 2005. 河南内乡县银洞沟银多金属矿床碳-氢-氧同位素地球化学[J]. 岩石学报, 21(5): 1359-1364
- 张森, 张迪, 沙德喜, 寇林林, 赵东芳. 2012. 辽东林家三道沟一小佟家堡子地区金(银)矿成矿特征及成因[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 42(3): 725-732

## Characteristics of Hydrothermal Superimposition Mineralization and Fluid Origins of the Xiaotongjiapuzi Gold Deposit in Liaoning Province

WANG Yi-cun, WANG Ke-yong, ZHANG Miao, LIANG Yi-hong, LI Jian-feng, FU Li-juan, WANG Zhi-gao  
(College of Earth Science, Jilin University, Changchun, Jilin 130026)

**Abstract:** The Xiaotongjiapuzi gold deposit is located in the southeast of the Qingchengzi mine field of Liaoning Province, which is a large deposit of altered rocks. This deposit formed in dolomite marble in the Dashiqiao Formation of Liaohé Group with layered or quasi-layered orebodies. It might be resulted from hydrothermal superimposition, experiencing quartz-pyrite stage and quartz-carbonate stage. The study of fluid inclusions indicate that the ore-forming fluids formed in hydrothermal superimposition stage belongs to a low-temperature and low-salt NaCl-H<sub>2</sub>O hydrothermal regime. Carbon hydrogen and oxygen isotope geochemistry research shows that oxygen isotopic  $\delta^{18}\text{O}$  in ore-forming fluids ranges from 15.2‰ to 18.4‰, Carbon isotope  $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$  varies from -7.4 to 13.2‰, and Hydrogen isotope  $\delta\text{D}$  is -89.3‰ to -92.2‰, implying ore-forming fluids in Quartz-pyrite stage stemmed from magmatic water with little atmospheric precipitation. Oxygen isotopic  $\delta^{18}\text{O}$  in ore-forming fluids ranges from 17‰ to 17.8‰, Carbon isotope  $\delta^{13}\text{C}_{\text{V-PDB}}$  -12.3‰ ~ -13.5‰, and Hydrogen isotope  $\delta\text{D}$  as -87.7‰ to -90.4‰, reflecting the ore-forming fluids in the quartz-carbonate stage mainly originated from atmospheric precipitation.

**Key words:** Xiaotongjiapuzi gold deposit, hydrothermal superimposition, fluid inclusion, isotope