

doi: 10.12029/gc20200209

李伟,江斌,刘淼,陈井胜,李斌,杨帆,张渝金,刘世峰,蔡闹. 2020. 内蒙古赤峰山湾子金矿流体包裹体和年代学研究[J]. 中国地质, 47(2): 394-405.

Li Wei, Jiang Bin, Liu Miao, Chen Jingsheng, Li Bin, Yang Fan, Zhang Yujin, Liu Shifeng, Cai Nao. 2020. A study of the fluid inclusions and chronology of the Shanwanzi gold deposit in Chifeng, Inner Mongolia[J]. *Geology in China*, 47(2): 394-405(in Chinese with English abstract).

内蒙古赤峰山湾子金矿流体包裹体和年代学研究

李伟¹, 江斌¹, 刘淼¹, 陈井胜^{1,2}, 李斌¹, 杨帆^{1,2}, 张渝金^{1,2}, 刘世峰³, 蔡闹⁴

(1. 中国地质调查局沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034; 2. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061; 3. 辽宁工程技术大学矿业学院, 辽宁 阜新 123000; 4. 纽约州立大学石溪分校, 纽约 长岛 11794)

摘要: 内蒙古赤峰山湾子金矿床位于赤峰—朝阳金成矿带东部, 产于早白垩世义县组一段安山岩中。为了研究该矿床成矿年龄及成因特征, 本文对该矿床流体包裹体岩相学, 显微测温, 氢、氧同位素和年代学研究表明: 流体包裹体主要以纯液相包裹体为主, 少量气—液两相包裹体。包裹体气体成分主要是 H₂O 和 CO₂, 反应了成矿流体为 NaCl—H₂O—CO₂ 体系。均一温度变化范围为 219~49℃, 盐度为 0.35%~3.23% NaCleqv, 属于低温低盐度范畴。成矿压力为 2.7~33.8 MPa, 成矿深度为 2.78 km 左右, 表明矿床具浅成特征。利用 LA-ICP-MS 方法锆石 U—Pb 测年, 获得赋矿围岩安山岩的形成年龄为 (123.59±1.0) Ma 和 (124.5±0.68) Ma, 对成矿时代进行了限制, 即成矿时代不早于早白垩世。综合矿床地质特征和成矿流体研究, 认为山湾子金矿床属低硫化浅成低温热液型矿床。

关键词: 流体包裹体; 山湾子金矿; 低硫化浅成低温热液型矿床; 成矿流体; 义县组一段安山岩; 矿产勘查工程; 内蒙古中图分类号: P618.51 文献标志码: A 文章编号: 1000-3657(2020)02-0394-12

A study of the fluid inclusions and chronology of the Shanwanzi gold deposit in Chifeng, Inner Mongolia

LI Wei¹, JIANG Bin¹, LIU Miao¹, CHEN Jingsheng^{1,2}, LI Bin¹, YANG Fan^{1,2}, ZHANG Yujin^{1,2}, LIU Shifeng³, CAI Nao⁴

(1. *Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, Liaoning, China*; 2. *College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China*; 3. *Liaoning Technical University, Fuxin 123000, Liaoning, China*; 4. *Stony Brook University, Stony Brook, NY 11794, USA*)

Abstract: The Shanwanzi gold deposit in Chifeng of Inner Mongolia which is located in the east of Chifeng—Chaoyang gold metallogenic belt occurs in the andesite of the early Cretaceous Yixian Formation. In order to discuss the metallogenic age and genetic characteristics of the deposit, the authors, through the study of petrography, microthermometry, hydrogen, oxygen isotope and chronology of the the fluid inclusions, have reached the following conclusions: The fluid inclusions are mainly composed of pure liquid inclusions and a small amount of gas—liquid two—phase inclusions, and the gas composition of the inclusions is mainly

收稿日期: 2018-06-22; 改回日期: 2019-10-26

基金项目: 中国地质调查局项目(DD20190039-06, DD20160048-04)资助。

作者简介: 李伟, 男, 1976年生, 教授级高级工程师, 主要从事矿产地质调查研究; E-mail: 57907017@qq.com。

通讯作者: 江斌, 男, 1979年生, 高级工程师, 主要从事矿产地质调查研究; E-mail: 310941224@qq.com。

H₂O and CO₂, which reflects the NaCl-H₂O-CO₂ system; uniform temperature range is 219–249°C, and salinity is 0.35%–3.23% NaCl eqv., suggesting that the temperature and salinity of the principal metallogenic period is low; the metallogenic pressure is 2.7–33.8MPa, and the metallogenic pressure depth is 2.78 km, indicating that the mineralization exhibits a shallow characteristic; the formation age of andesite determined by ICP-MS U-Pb zircon is 123.6 Ma and 124.5 Ma, which is consistent with the age of early Cretaceous period of the Chaoyang-Chifeng gold metallogenic belt. Combining ore deposit characteristics with the study of the metallogenic fluid, the authors hold that the Shanwanzi gold deposit is a low sulfur, low temperature hypabyssal hydrothermal deposit.

Key words: fluid inclusion; gold deposit in Shanwanzi; a low sulfur low temperature hypabyssal hydrothermal deposit; metallogenic fluid; andesite from first member of Yixian Formation; mineral exploration engineering; Inner Mongolia

About the first author: LI Wei, male, born in 1976, senior engineer, mainly engages in regional geology and mineral survey; E-mail: 57907017@qq.com.

About the corresponding author: JIANG Bin, male, born in 1979, senior engineer, mainly engages in regional geology and mineral survey; E-mail: 310941224@qq.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey Program (No. DD20190039-06, No. DD20160048-04).

1 引言

朝阳—赤峰金矿带是国内知名的金矿带,分布着大量的金矿床(苗来成等,2003;李永刚等,2003;陈伟军等,2006;孙珍军,2013),有金厂沟梁、二道沟、红花沟、莲花山、撰山子、梅林、热水、安家营子、奈林沟等金矿床。长期以来,其成因的认识各不相同,母瑞身等(1985)认为安家营子金矿为岩浆热液型矿床;刘纲(1996)认为红花沟矿床、莲花山矿为重熔岩浆热液型矿床;魏存弟(2001)认为撰山子金矿为重熔岩浆热液型矿床;徐万臣(2007)认为二道沟金矿为中深成中温岩浆热液型矿床;而对于奈林沟金矿床的成因类型则存在两种观点,“火山热液型”(母瑞身等,1985)和“岩浆热液型”(王时麒等,1994;刘纲,1996)。而山湾子金矿位于奈林沟金矿集区东部,两者成矿条件一致且都处于铁匠营子盆地的火山岩层位中。对该矿床成因类型的研究还是众说纷纭,为了更好地调查奈林沟金矿的成矿特征及成因类型,笔者近几年来,在山湾子金矿区投入了大量物化探及大比例尺填图工作并通过异常查证后揭露出两条金矿化体,并圈定出了可供进一步工作的找矿靶区。目前,对该矿床的研究工作主要集中在矿床地质特征和围岩蚀变特征(李伟等,2017)、地质地球化学特征(敖东,2012)以及金矿成矿时代(陈井胜等,2015)方面,并取得了重要进展,但对矿床的流体包裹体的研究相对较少。本次工作通过对山湾子金矿流体包裹体的研究,查明矿床

形成过程中成矿流体的特征及物理化学条件,包括成矿温度、流体盐度、密度、压力以及成矿深度等,并以此来探讨成矿流体的来源、成矿作用及矿床成因。

2 成矿地质背景

山湾子金矿在矿化区带上属于赤峰—朝阳金成矿带东部的次级成矿带努鲁儿虎成矿带的中部,位于华北板块与西伯利亚板块的拼合部位的兴蒙造山带上,有学者认为兴蒙造山带并非简单的是两大板块的缝合带,而是由介于两大板块之间的中小块体群组成的拼合带(李双林和欧阳自远,1998)。区域上先后经历了吕梁期—加里东期—华力西期以及燕山期构造岩浆用,晚古生代晚期开始,由于华北板块与西伯利亚板块的逐渐拼接过程,使岩浆活动开始活跃,到中生代,由于太平洋板块的俯冲作用,伴随着更加剧烈的构造和岩浆活动,使以往东西向构造格局转变为北东向断裂,并引起一系列北东向岩浆侵入活动,形成众多大小不一的花岗岩类侵入体,而这一时期岩体与成矿关系最为密切,区内金矿床广泛分布,总体上看地质背景呈早期复杂后期统一的特点。

山湾子金矿区位于赤峰—开原深大断裂带中,其独特的构造位置决定了本区具有很好的成矿潜力(王时麒等,1994)。北西和北东向断裂是区内主要的控矿构造,控制了研究区内矿化蚀变带的分布方向(李伟等,2015)。火山活动也较频繁,主要发育有侏罗—白垩系基性—酸性火山岩建造(邵积东

等,2007;吴福元等,2007)。该火山地层分布较广泛,是研究区金矿主要的含矿围岩。研究区侵入岩较发育,产出规模大小不一,成矿作用一般发生在岩浆侵入后期的热液阶段。

3 矿床地质特征

研究区主要发育的地层有侏罗系上统张家口组、白垩系下统义县组一段和第四系乌尔吉组(图1)。上侏罗统张家口组主要岩性为流纹质晶屑岩屑凝灰岩;下白垩统义县组一段岩性为安山岩,为矿区主要的赋矿岩石地层。

研究区侵入岩出露在矿区的东北角,主要岩石

类型为中生代中粒正长花岗岩;脉岩主要包括正长斑岩和石英脉。其中,含金的石英脉在区内分布较多,是研究的主要对象。石英晶簇特别发育,多呈梳状、晶洞状。局部见有赤铁矿、黄铁矿及磁铁矿等金属矿物。

研究区断裂构造以 NE 向构造为主,次一级呈 NEE 向,为 NE 向构造的派生构造。这些断裂构造是控制区内成岩成矿作用的主要构造。其中,NE 向断裂延长较长,并具多期活动的张性断裂。在近东西方向左行剪应力的作用下,形成北东向张裂隙,沿裂隙发育北东向的石英脉 60 多条,其中含金石英细脉达 40 条以上,展布方向为 30~70°,形成 2

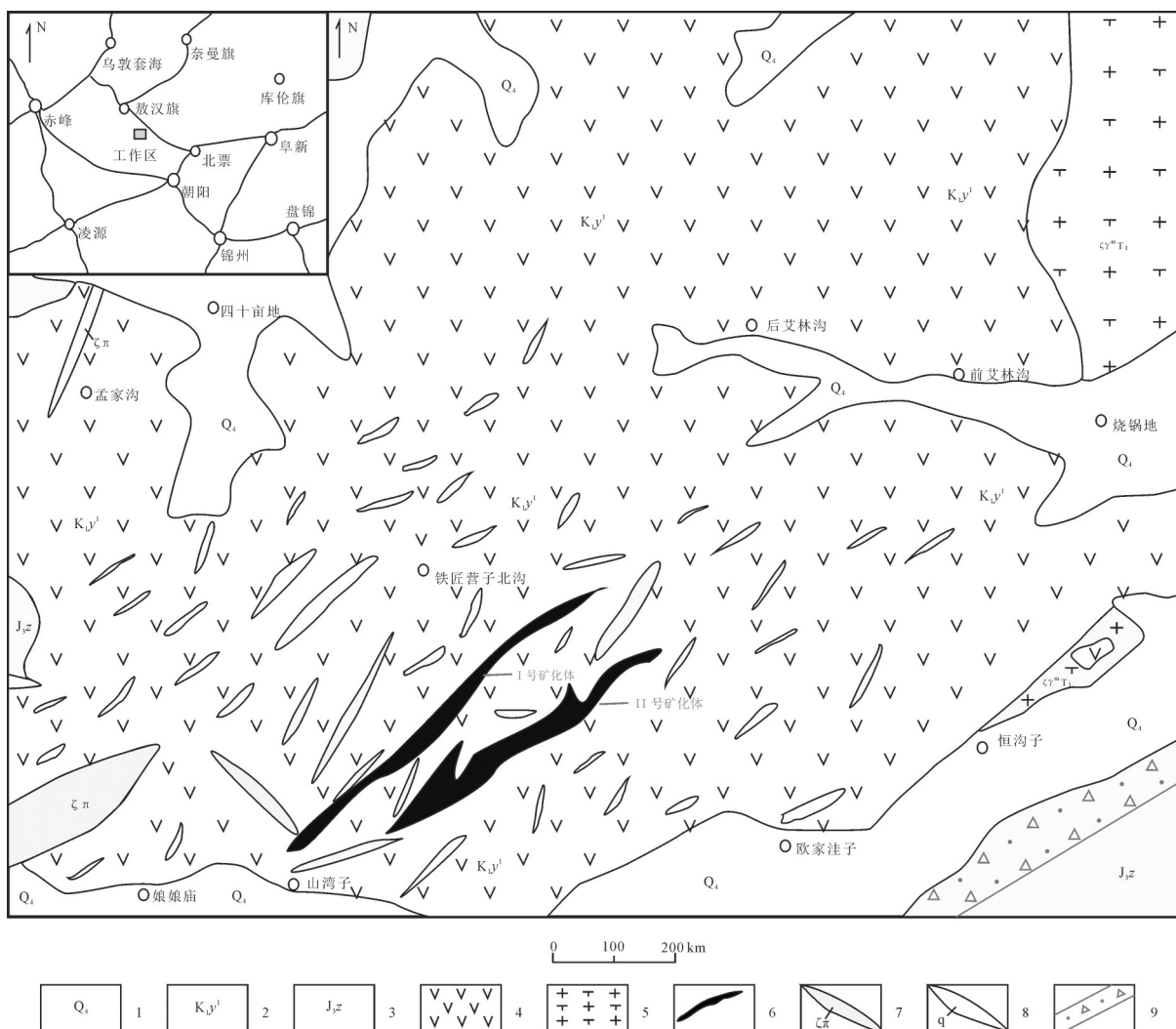


图1 山湾子金矿地质简图

1—第四系乌尔吉组;2—义县组一段;3—张家口组;4—安山岩;5—正长花岗岩;6—金矿化体;7—正长斑岩脉;8—石英脉;9—构造破碎带

Fig.1 Simplified geological map of the Shanwanzi gold deposit

1—Quaternary Wuerji Formation; 2—First member of Yixian Formation; 3—Zhangjiakou Formation; 4—Andesite; 5—Syenite granite; 6—Gold mineralized body; 7—Syenite porphyry; 8—Quartz vein; 9—Tectonic fracture zone

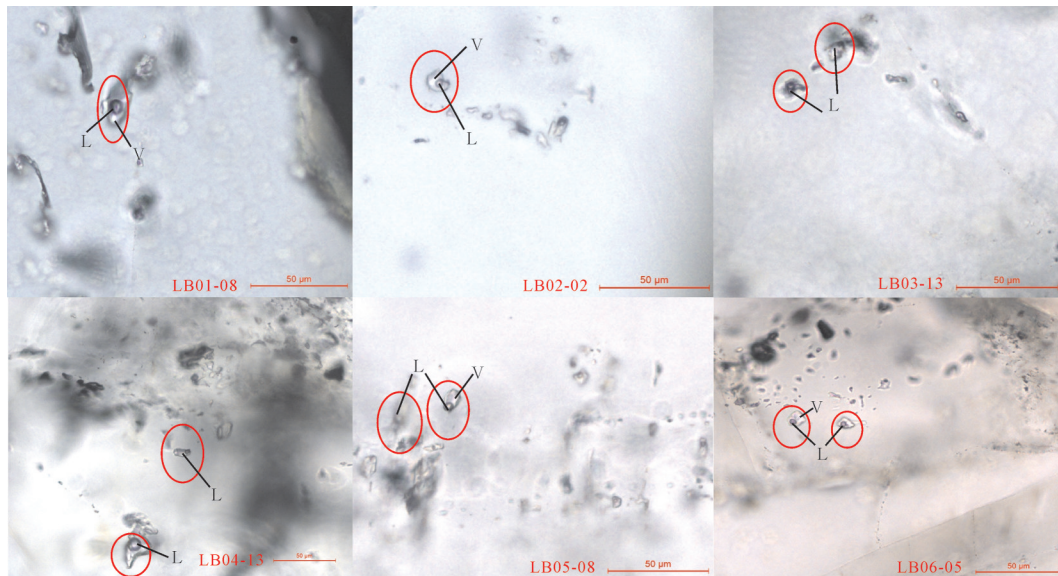


图2 山湾子金矿主成矿体各包裹体形态图

Fig.2 The shapes of various fluid inclusions of the major ore-forming body in the Shanwanzi gold deposit

个北东方向金矿化蚀变带。

矿脉属贫硫化物石英脉型,脉体内金属硫化物含量较少,且分布不均,多为局部富集。其两侧的蚀变围岩中,虽有少量黄铁矿,但含金量位极低。山湾子金矿的矿石通常是石英脉本身。矿石的构造主要为细脉状、条带状及角砾状为主,次为浸染状及团块状。矿石中硫化物含量低,但金属矿物种类较多。主要矿物为赤铁矿,粒度0.1~1 mm,含量在1%~3%,偶见黄铁矿及赤铁矿、银金矿、磁铁矿等。非金属矿物以石英为主,其次为萤石、方解石等。次生矿物有褐铁矿等。表生矿物主要为褐铁矿及赤铁矿。围岩发生轻微蚀变,为高岭土化、硅化、绢英岩化、绿帘石化及绿泥石化等。围岩蚀变具有明显的分带性,蚀变带强弱蚀变的界限清晰,渐变关系明显。这些蚀变在时间上有一定的顺序,空间上不但有分带性且互相叠加的特点(丰成友等,1999)。

4 样品及分析测试方法

4.1 流体包裹体测试方法

样品采自山湾子金矿的主矿体石英脉中的乳白色石英。包裹体显微测温在核工业北京地质研究院分析测试研究中心流体包裹体实验室 Linkam THMS600 型冷热台上完成。可测温度范围为-196~+600℃,测试前用人造纯H₂O及盐度为25%的H₂O-NaCl包裹体(国际标样)进行系统校正,该冷热

台在-120~-70℃温度区间的测定精度为±0.5℃,-70~+100℃区间为±0.2℃,在100~500℃区间为±2℃。测试升温速率一般为5℃/min,相变点附近升温速率应降低为1℃/min。山湾子金矿床主要发育气液两相包裹体。所测数据包括两相包裹体的均一温度和冰点温度。根据冰点温度,利用经验公式计算或直接查表确定流体盐度;然后利用温度-盐度-密度相图或经验公式计算求得流体密度(刘斌等1999;胡芳芳等,2007;李文博等,2007;黄锡强等,2008)。

4.2 氢、氧同位素测试方法

氢、氧同位素测试在核工业北京地质研究院分析测试研究所稳定同位素实验室MAT-253质谱仪上完成。氢同位素误差为±0.2‰,氧同位素±2‰。氢同位素分析在415℃时,用Zn粒置换,还原出氢气,再用液氮冷冻后,收集到有活性炭的样品瓶中进行测试。氧同位素采用BrF₅法,反应原理为硅酸盐或氧化物与强氧化剂BrF₅在高温下反应生成O₂,然后用碳棒转化为CO₂,最后送质谱分析。

4.3 U-Pb 锆石测年方法

为了确定山湾子金矿床的成矿时代,分别对该矿床的赋矿围岩进行了样品采集。采取了义县组一段的安山岩2个样品(TW01和TW02)。样品的破碎和锆石的挑选工作在河北省区域地质调查大队地质实验室完成。锆石制靶、阴极发光扫描电镜显微照相(CL)(图5)及锆石激光剥蚀等离子体质谱

(LA-ICP-MS)U-Pb同位素分析在武汉地质调查中心国土资源部中南矿产监督检测中心完成。锆石微量元素含量和U-Pb同位素是利用LA-ICP-MS同时分析完成的,激光剥蚀系统为GeoLas2005, ICP-MS为AgiLent7500a。激光剥蚀过程中采用氦气作为载气、氩气为补偿气以调节灵敏度,二者在进入ICP之前通过一个T型接头混合。在等离子体中心气流(Ar+He)中加入了少量氮气,以提高仪器灵敏度、降低检出限和改善分析精密度。每个时间分辨分析数据包括20~30的空白信号和50 s的样品信号。对分析数据的离线处理(包括对样品和空白信号的选择、仪器灵敏度漂移校正、元素含U-Th-Pb同位素比值和年龄计算)采用软件ICPMSDaTaCaL完成。锆石微量元素含量利用NIST610作为外标、Si作内标的方法进行定量计算。U-Pb同位素定年中采用锆石标准91500作外标进行同位素分馏校正,每分析5个样品点,分析2次91500。锆石标准91500的U-Th-Pb同位素比值推荐值据(Wiedenbeck, 1995)。锆石样品的U-Pb年龄谱和图绘制和年龄权重平均计算均采用Isoplot/Ex-ver3(Ludwig, 2003)完成。

5 分析结果

5.1 流体包裹体岩相学和冷热台测试

在山湾子金矿主成矿体上采取6件流体包裹体样品。通过显微岩相学分析,见有不同空间分布特征的包裹体,一种呈星点状杂乱分布,形状多为多边形等不规则状,这种包裹体为原生包裹体,另一种呈带状较规则分布,具有较明显的方向性,形状为椭圆形等不规则状,这种包裹体为次生包裹体。本次工作主要将原生包裹体作为研究的重点。通过分析认为原生包裹体主要有纯液相(L)包裹体和气-液两相(LV)包裹体两种类型(图2)。纯液相(L)包裹体:个体较小,为成群分布,多为晚期低温热液捕获的包裹体;室温下有液相水溶液(L)和气相(V)两相,此类包裹体均一时为液相。气-液两相水溶液包裹体:个体稍大,主要成带状分布,少量成群分布;室温下也由液相(L)和气相(V)两相组成,气液比稍大,此类包裹体均一时也为液相。

其中气液包裹体中气液比为15%~25%,包裹体气体成分主要是H₂O和CO₂,反映成矿流体为NaCl-

H₂O-CO₂体系,表明成矿流体被捕获时处于一种不均匀的热体系状态中,各包裹体形态特征不一。

对山湾子金矿石英流体包裹体显微测温结果(表1)分析,表现出多期次流体活动相互叠加的特征。盐度为0.35%~3.23% NaCleqv,均一温度介于162~287℃,可分为1个低温峰(162~187℃)、2个中温峰(219~230℃和236~249℃)和1个高温峰(287℃)。均一温度变化范围以219~249℃为主,属于中低温低盐度范畴。在均一温度和盐度相关图解上(图3)盐度(0.9%~1.12% NaCleqv)流体的温度变化范围较大,且盐度与均一温度不成正相关关系,代表了晚期大气降水的存在。大部分包裹体的盐度随均一温度的升高而增大,说明在成矿的阶段存在多种不同性质流体的混合作用。

根据刘斌等(1987)提出的NaCl-H₂O体系,均一温度≤500℃,盐度≤30%(wt)的流体包裹体盐度密度关系式得流体密度为0.76~0.92 g/cm³;根据温度和压力关系式: $P=a+bt+ct^2$ (P 为包裹体压力, a 、 b 和 c 为不同盐度、密度下的无量纲参数),得到山湾子金矿床成矿流体压力在12.7~33.8 MPa,平均为23.3 MPa。根据孙丰月等(2000)分段拟合的压力与深度之间的关系式,当流体压力在40 MPa以下时,用静水压力梯度值来计算流体的深度,由此估算得山湾子金矿床的成矿深度区间在2.34~3.21 km,平均深度约为2.78 km,属于Gebre-Mariam et al. (1995)提出的浅成矿床范围。因此,代表了山湾子金矿流体成矿压力为2.7~33.8 MPa,成矿深度为2.78 km,表明矿床具浅成的特征。

5.2 H、O同位素组成

分别对山湾子金矿石英脉及无矿石英脉进行了石英流体包裹体H、O同位素分析,结果见表2。根据 $1000\ln\alpha_{\text{石英-水}}=3.38\times 106T^{-2}-3.4$ 公式,将矿石中石英的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$ 换算成与之平衡的包裹体水的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值(Clayton et al., 1972)。6件样品的流体包裹体水的 $\delta\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}=-27.8\text{‰}\sim-29.7\text{‰}$,单矿物石英的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}=0.2\text{‰}\sim 2.2\text{‰}$, $\delta\text{D}_{\text{石英}}=-104.4\text{‰}\sim 143.6\text{‰}$ 。

6 讨论

6.1 成矿流体的来源

区域上金矿床成矿流体来源的因素较多,李永刚等(2004)认为安家营子金矿床的成矿流体来自

表1 山湾子金矿石英流体包裹体特征及显微测温结果

Table 1 The fluid inclusion characteristics and temperature determinations of the quartz vein

样号	岩性	主矿物	包裹体特征			气液比/%	盐度/(%NaCl eqv)	均一温度/°C
			类型	形态	大小/m×m			
LB01		石英	LV	成群分布	8×12	25	0.53~2.74	249
		石英	LV	成群分布	6×13	25	2.24 - 2.57	287
LB02	I号矿脉,NE走向,多金属硫化物石英脉矿石	石英	L	成群分布	5×9	20	1.74~3.23	236
		石英	L	成群分布	5×6	20	2.67~3.23	240
		石英	L	成群分布	4×5	20	0.35~1.06	187
LB03		石英	L	成群分布	4×4	15	0.71~1.06	170
		石英	L	成群分布	4×5	15	0.53~1.06	162
LB04		石英	L	成群分布	4×6	20	0.35~2.90	219
LB05	II号矿脉,NE走向,白色石英脉	石英	L	带状分布	5×6	15	0.88~1.40	228
		石英	L	带状分布	4×8	20	1.06~1.23	230
LB06		石英	LV	成群分布	6×10	25	0.71~1.74	240

注:测试单位:核工业北京地质研究院分析测试研究中心;仪器名称:LINKAM THMS600型冷热台;仪器编号:7035;温度20°C,湿度30%。

花岗岩浆期后热液,冯德胜等(2014)认为奈林沟金矿床成矿流体来源于岩浆水和大气降水的混合热液。本文流体研究表明,山湾子金矿床成矿流体以低温和低盐为特征。从均一温度和盐度图(图3)中并没有看到高盐度和低盐度流体端元组分的相互混合,这种特点常见于浅成低温热液成矿系统中,而不同于岩浆热液成矿系统中的高温、高盐度特征,也不同于变质热液成矿系统中的中温、富CO₂特征(卢焕章等,2004;陈衍景等,2007; Pirajno, 2009; 陈衍景,2010)。

根据成矿流体 $\delta D-\delta_{18}O$ 水关系图(图4)可见,矿

石包体水氢、氧同位素组成点分布集中。投影点主要落在岩浆水与变质水的混合区右侧,并接近于岩浆水,但它们并不来源于岩浆水,而与地层建造水的H、O同位素组成接近(沈渭洲,1987),且靠近变质水的下边界。根据矿区地质特征来看,并不支持岩浆物质来源的证据,因此排除了岩浆水来源的可能性。鉴于样品取自沿早期应力作用形成裂隙而发育的石英脉,且晚于区域地层的浅变质作用,因此成矿热液应来源于早期的因构造形成的地层建造水及变质水。另一些样品投影在岩浆水和大气降水之间,根据水-岩交换作用(丰成友,2002),单个矿床不同成床阶段成矿流体的H、O同位素投点

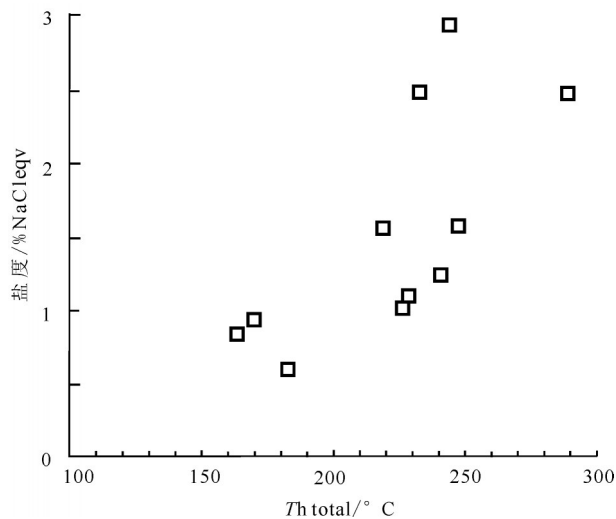


图3 均一温度和盐度的关系图

Fig.3 The relationship between temperature and salt

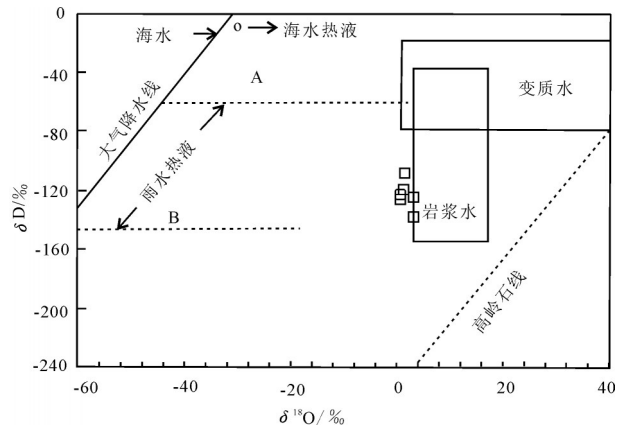


图4 $\delta D-\delta_{18}O$ 关系图(据 Taylor, 1979)

Fig.4 The relationship between δD and $\delta_{18}O$ (after Taylor, 1979)

表2 山湾子金石英流体包裹体H、O同位素测试结果

序号	样号	产状	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$	$\delta\text{D}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{HO}}/\text{‰}$
1	LB01	I号矿脉,NE走向,含赤铁石英脉矿石	-29.7	-119.3	0.2
2	LB02	I号矿脉,NE走向,石英脉矿石	-29.7	-133.4	0.3
3	LB03	I号矿脉,NE走向,含银金石英脉矿石	-27.8	-124.3	2.2
4	LB04	I号矿脉,NE走向,含赤铁石英脉矿石	-29.5	-104.4	0.5
5	LB05	II号矿脉,NE走向,白色石英脉	-29.2	-116.9	0.8
6	LB06	II号矿脉,NE走向,白色石英脉	-28.1	-143.6	2

注:测试单位:核工业北京地质研究院分析测试研究中心,仪器名称:LINKAM THMS600型冷热台,仪器编号:7035。温度20°C,湿度30%。

与相应温度的大气降水曲线相吻合,并显示主成矿流体为大气降水为主的热液特征。因此山湾子金矿成矿流体早期主要为地层建造水和变质水,成矿期主要为大气降水。

对区域上金矿成矿流体特征的对比(王时麒,1994;陈旭,2014)(表3)认为,山湾子金矿床形成温度要比红花沟及莲花山金矿床高,而比撰山子、安家营子及金厂沟梁金矿床形成温度要低,更接近奈林沟金矿床。流体密度处于其他几个金矿床数值之间,而流体盐度却远低于其他几个金矿床,表明了山湾子金矿成矿流体具有低盐的特点。分析其原因,可能是山湾子金矿脉多发育在张性裂隙中,且具有浅成的特点,因此会有更多机会接受外来低盐流体的参与,并且使流体得到稀释。再加上构造环境发生改变,更多地接受水蒸气和大气降水,从而使流体盐度逐渐降低。因此山湾子金矿成矿流体的盐度要明显低于区域其他矿床。

6.2 U-Pb 测年

前人资料认为早白垩世132~116 Ma是朝阳—赤峰金矿带一个重要的金成矿时代(罗镇宽等,2000,2001;苗来成等,2000,2003;李永刚等,2003)。陈井胜等(2015)在铁匠营子盆地采用LA-ICP-MS锆石U-Pb法,所测的义县组一段安山岩及义县组二

段流纹质熔结凝灰岩3个样品得到结果分别为:130.8 Ma、124.6 Ma、121.6 Ma。

笔者对山湾子金矿的赋矿围岩取得2个样品,并采用LA-ICP-MS锆石U-Pb法进行测年。锆石主要为短柱状,长多介于100~300 μm ,长宽比约2:1,大多数锆石具较好的锥面和柱面,在阴极发光图像(图5)上,有典型岩浆岩锆石特征,具清晰的韵律环带结构。

TW01及TW02分别有20个样品测试点,数据变化范围小且成群分布,具有很好的谐和度(图6)。样品结果U、Pb指示这些锆石为同一期岩浆事件形成的(表4)。其中:TW01分析点的U和Th含量变化范围较小,介于 143×10^{-6} ~ 397×10^{-6} 和 57×10^{-6} ~ 351×10^{-6} ,Th/U比值为0.30~0.88;TW02分析点的U和Th含量变化范围不大,介于 246×10^{-6} ~ 1165×10^{-6} 和 218×10^{-6} ~ 2303×10^{-6} ,Th/U比值为0.57~3.00;表明其为典型岩浆成因(Th/U > 0.4)。

在谐和曲线上,锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄较集中,加权平均年龄后得到结果分别为:123.6 Ma、124.5 Ma,与朝阳—赤峰金矿带金成矿时代一致。同时作为山湾子金矿的赋矿围岩,这两个年龄结果对成矿时间进行了限制,即山湾子金矿的成矿时间不早于123.6 Ma,结合朝阳—赤峰金矿带金成矿时代的分

表3 区域金矿成矿流体特征对比

Table 3 Comparison of characteristics of ore-forming fluids of regional gold deposits

金矿床	撰山子	安家营子	红花沟	莲花山	金厂沟梁	奈林沟	山湾子
样品数	9	9	10	7	20	95	6
Th/ $^{\circ}\text{C}$	269	301	168	196	299	230	234
S/%NaCl	4.40	7.4	4.04	6.74	3.80	10.37	3.23
$\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$	0.83	0.28	0.94	0.94	0.77	0.91	0.84
Hs/km	2.16		1.34	1.73	2.40	1.48~3.04	2.78
数据来源			王时麒,1994			陈旭,2014	本文

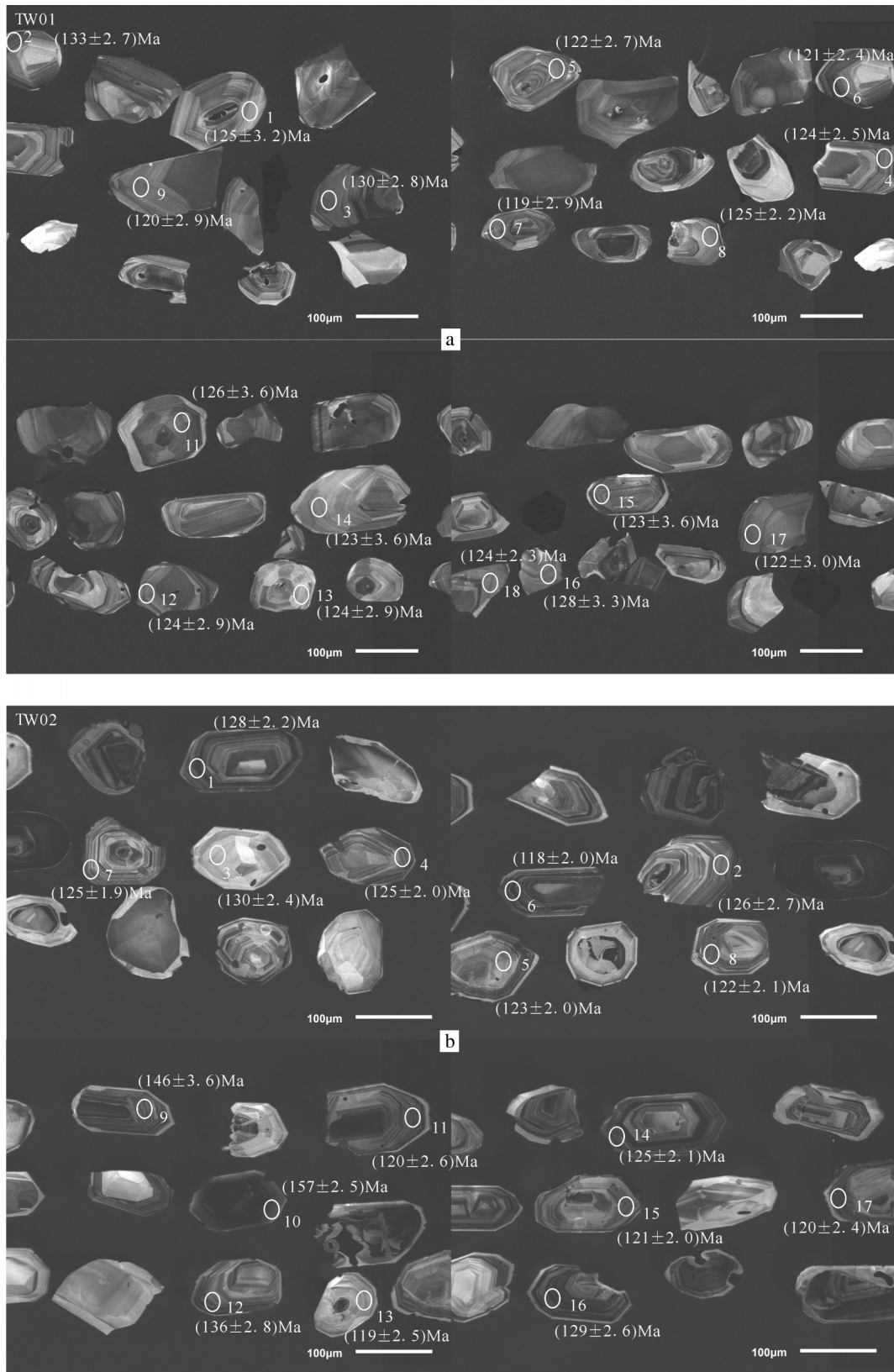


图5 TW01(a)和TW02(b)典型锆石阴极发光(CL)显微图像
Fig.5 The typical CL zircon micro-images of TW01 (a) and TW02 (b)

表4 TW01及TW02锆石LA-ICP-MSU-Ub分析结果
Table 4 The zircon test results of TW01 and TW02

样品号	含量/ 10^{-6}			Th/U	同位素比值				表面年龄/Ma			
	Pb	Th	U		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	\pm	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	\pm	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	\pm	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	\pm
TW01-1	7.39	101.64	209.70	0.48	0.13	0.01	0.02	0.00	121.36	7.78	125.23	3.21
TW01-2	12.19	140.32	290.76	0.48	0.24	0.02	0.02	0.00	214.82	16.02	133.02	2.75
TW01-3	9.55	129.55	295.24	0.44	0.12	0.01	0.02	0.00	115.55	7.93	130.09	2.78
TW01-4	8.19	125.00	240.04	0.52	0.13	0.01	0.02	0.00	124.04	6.33	124.29	2.53
TW01-5	6.11	67.40	216.36	0.31	0.12	0.01	0.02	0.00	119.35	7.38	122.97	2.70
TW01-6	9.45	127.77	306.21	0.42	0.13	0.01	0.02	0.00	125.35	6.87	121.82	2.41
TW01-7	8.98	167.71	257.98	0.65	0.14	0.01	0.02	0.00	132.53	6.97	119.05	2.49
TW01-8	17.71	350.83	397.29	0.88	0.14	0.01	0.02	0.00	130.19	5.85	125.81	2.17
TW01-9	6.28	78.52	189.65	0.41	0.13	0.01	0.02	0.00	125.21	7.76	120.26	2.98
TW01-10	6.55	102.79	191.00	0.54	0.12	0.01	0.02	0.00	117.64	6.99	123.30	2.95
TW01-11	5.17	64.86	156.52	0.41	0.15	0.01	0.02	0.00	142.44	8.69	126.07	3.62
TW01-12	9.71	127.05	300.55	0.42	0.13	0.01	0.02	0.00	126.71	8.11	124.87	2.91
TW01-13	8.12	96.58	256.48	0.38	0.13	0.01	0.02	0.00	120.02	7.45	124.30	2.92
TW01-14	7.30	78.68	263.40	0.30	0.12	0.01	0.02	0.00	113.93	7.00	126.00	2.58
TW01-15	4.74	57.05	143.04	0.40	0.16	0.01	0.02	0.00	151.63	10.50	123.18	3.65
TW01-16	7.37	96.56	209.82	0.46	0.17	0.01	0.02	0.00	160.73	10.30	128.84	3.27
TW01-17	5.24	70.44	174.13	0.40	0.16	0.01	0.02	0.00	154.01	8.43	122.02	3.05
TW01-18	13.32	224.78	352.15	0.64	0.13	0.01	0.02	0.00	126.90	6.54	124.92	2.29
TW01-19	5.94	74.32	192.93	0.39	0.13	0.01	0.02	0.00	126.99	7.62	125.60	3.56
TW01-20	7.28	115.36	227.49	0.51	0.13	0.01	0.02	0.00	122.25	7.15	120.34	2.40
TW02-1	30.49	459.21	808.70	0.57	0.14	0.01	0.02	0.00	131.44	5.86	128.92	2.27
TW02-2	14.78	257.31	325.24	0.79	0.13	0.01	0.02	0.00	123.25	6.21	126.98	2.66
TW02-3	23.86	405.21	551.75	0.73	0.15	0.01	0.02	0.00	142.74	6.73	130.84	2.41
TW02-4	17.63	342.94	367.94	0.93	0.13	0.01	0.02	0.00	121.83	5.64	125.80	2.07
TW02-5	23.75	417.78	597.52	0.70	0.13	0.01	0.02	0.00	125.27	5.12	123.86	2.05
TW02-6	22.36	410.28	573.36	0.72	0.13	0.01	0.02	0.00	128.20	5.18	118.19	2.01
TW02-7	43.19	837.23	858.46	0.98	0.13	0.01	0.02	0.00	126.78	5.26	125.73	1.95
TW02-8	77.43	2302.61	768.37	3.00	0.13	0.01	0.02	0.00	126.53	4.69	122.64	2.13
TW02-9	32.02	442.23	405.65	1.09	0.47	0.04	0.02	0.00	394.19	30.32	146.82	3.60
TW02-10	47.42	699.48	927.87	0.75	0.17	0.01	0.02	0.00	156.20	4.74	157.78	2.48
TW02-11	23.63	613.31	309.10	1.98	0.13	0.01	0.02	0.00	119.86	6.00	120.20	2.61
TW02-12	73.47	917.84	1165.02	0.79	0.50	0.05	0.02	0.00	410.11	33.11	136.53	2.75
TW02-13	11.98	217.96	246.19	0.89	0.14	0.01	0.02	0.00	130.96	8.44	119.60	2.53
TW02-14	21.78	415.91	473.50	0.88	0.13	0.01	0.02	0.00	124.90	5.50	125.81	2.14
TW02-15	22.13	440.19	468.46	0.94	0.13	0.01	0.02	0.00	122.47	5.12	121.03	2.05
TW02-16	21.33	416.50	378.59	1.10	0.16	0.01	0.02	0.00	147.60	7.30	129.67	2.63
TW02-17	19.33	386.63	414.23	0.93	0.12	0.01	0.02	0.00	118.50	6.21	120.67	2.42
TW02-18	15.12	299.61	323.51	0.93	0.14	0.01	0.02	0.00	130.61	6.00	122.62	2.38
TW02-19	58.17	939.66	1088.73	0.86	0.16	0.01	0.02	0.00	146.98	4.64	149.92	2.10
TW02-20	19.15	361.56	391.38	0.92	0.14	0.01	0.02	0.00	133.32	5.77	129.57	2.93

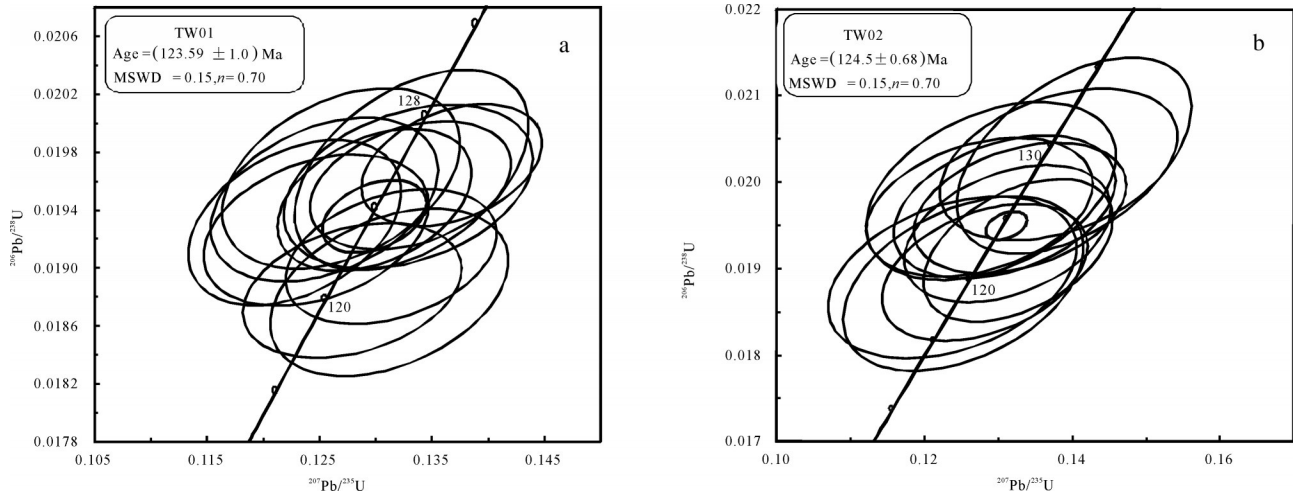


图6 TW01(a)和TW02(b)样品锆石U-Pb谐和图

Fig.6 Zircon U-Pb concordia plots of TW01 (a) and TW02 (b)

析认为,山湾子金矿成矿时代不早于早白垩世。

6.3 矿床成因讨论

山湾子金矿处于铁匠营子火山盆地中,该盆地中发育一系列NNE及NEE向的断裂构造带,其形成和空间演化控制着山湾子金矿体的发育,同时构造带既是成矿流体的通道,又是金的沉淀场所。氢氧同位素组成研究表明,山湾子金矿床的成矿热液来源于深部的岩浆水和变质水的混合,并随成矿作用由早到晚的阶段演化。研究区内岩浆的每一次喷发和侵位,都伴随着岩浆房内部成矿元素的浓缩和富集(薛伟等,2019)。同时对成矿提供成矿流体,以围岩中萃取、活化成矿物质而提高成矿流体中成矿元素的浓度而更有利于成矿物质的沉淀和富集(杨建军等,2018)。在成矿热液上升过程中可能萃取并富集地层中的金,此时山湾子—奈林沟断裂构造带为深部的成矿流体和成矿物质提供了运移的通道,也为矿床提供了重要的成矿空间(郑云飞,2011)。当运移到地壳浅部的由后期伸展环境引起的张性裂中时,发生了来自大气降水的低盐度流体与岩浆成因的深部流体的混合作用,并引起流体组分改变及流体温度快速下降,导致金沉淀形成矿体,并形成大量角砾状的石英脉型矿石,成为该矿重要的容矿构造。在东北向及北西向断裂的挤压,对矿体最后进行叠加改造作用,最终形成各种破碎的金矿体。同时造成围岩硅化、钾长石化以及黄铁矿化蚀变。

7 结论

山湾子金矿流体包裹体及H、O同位素的研究

表明:(1)该流体包裹体主要有纯液相(L)包裹体和气-液两相(LV)包裹体两种类型。包裹体气体成分主要是H₂O和CO₂,反映了成矿流体为NaCl-H₂O-CO₂体系。表明了成矿流体被捕获时处于一种不均匀的热体系状态中。各包裹体形态特征不一。(2)包裹体显微测温结果表现出多期次流体活动相互叠加的特征。均一温度变化范围为219~249℃,属于低温范畴。(3)盐度为0.35%~3.23% NaCleqv,通过与区域上几个金矿床成矿流体特征的对比,认为山湾子金矿成矿流体低盐特征明显。(4)山湾子金矿在成矿的阶段存在多种不同性质流体的混合作用,其成矿流体早期主要为地层建造水和变质水,成矿期主要为大气降水。(5)山湾子金矿流体成矿压力为2.7~33.8 MPa,成矿压力深度为2.78 km,表明矿床具浅成的特征。

综合矿床地质特征和成矿流体研究,认为山湾子金矿的成因类型为低硫化浅成低温热液型矿床,其赋矿围岩的时代为早白垩世,因此,对矿床的成矿时代限制为不早于早白垩世。成矿地质条件较好,具有十分广阔的找矿前景。

References

- Chen Jingsheng, Liu Miao, Li Bin, Li Wei, Li Weiwei. 2015. Metallogenic age of Nailingou gold deposit[J]. *Gold*, 36(9):13-19.
- Chen Weijun, Liu Hongtao. 2006. Major types and geological features of gold mineralization occurred in the Chifeng- Chaoyang gold concentration region[J]. *Gold Science and Technology*, 14(5):1-7 (in Chinese with English abstract).
- Chen Xu, Sun Guosheng, Ao Dong, Sun Zhenjun, Wang Chunguang.

2014. Characteristics of fluid inclusions and genesis of Nailingou gold deposit in Aohan Banner of Inner Mongolia[J]. *Global Geology*,33(2):399–406.
- Chen Yanjing. 2010. On epizonogenism and genetic classification of hydrothermal deposit[J]. *Earth Science Frontiers*,17(2):27–34(in Chinese with English abstract).
- Chen Yanjing, Ni Pei, Fan Hongrui, Pirajno F, Lai Yong, Su Wenchao, Zhang Hui. 2007. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23(5): 2085–2108 (in Chinese with English abstract).
- Clayton R N J, Neil R O, Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water[J]. *Geophys. Res.*, 77: 3057–3067.
- Feng Chengyou, Ji Jinsheng, Xue Chunji, Zhang Lianchang. 1999. Geological characteristics and genetic analysis of Xitan epithermal gold deposit, eastern Tianshan[J]. *Xinjiang Geology*,17(1):1–7(in Chinese with English abstract).
- Feng Chengyou. 2002. Multiple Orogenic Processes and Mineralization of Orogenic Gold Deposits in the East Kunlun Orogen, Qinghai Province[D]. Beijing: Chinese Academy of Geological Sciences (in Chinese with English abstract).
- Feng Desheng, Sun Guosheng, Ao Dong, Wang Chunguang. 2014. Geochemical characteristics of C–H–O isotopes in Nailingou gold deposit, Inner Mongolia[J]. *Gold*, 35(2):18–22(in Chinese with English abstract).
- Gebre–Mariam M, Hagemann S G, Groves D I. 1995. A classification scheme for epigenetic Archaean lode–gold deposits[J]. *Mineralium Deposita*, 20(5):408–410.
- Hu Fangfang, Fan Hongren, Yang Kuifeng. 2007. Fluid inclusions in the Dengezhuang lode gold deposit at Muping, Jiaodong Peninsula[J]. *Acta Petrologica Sinica*,23(9):2155–2163(in Chinese with English abstract).
- Huang Xiqiang, Chen Zhengle, Wang Pingan, Yang Nong, Zhi Jian. 2008. Fluid inclusion study of the Shazhou uranium orefield in the Xiangshan deposit, Jiangxi. *Journal of Geomechanics*, 14(12): 176–182(in Chinese with English abstract).
- Li Shuanglin, Ouyang Zhiyuan. 1998. Tectonic framework and evolution of Xing’anling–Mongolian Orogenic Belt (XMOB) and its adjacent region[J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*,18 (3) : 45–54(in Chinese with English abstract).
- Li W B, Lai Y, Sun X W, Wang B G. 2007. Fluid inclusion study of the Bainaimiao Cu–Au deposit in Inner Mongolia, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 23:2165–2176(in Chinese with English abstract).
- Li Wei, Chen Jingsheng, Liu Miao, Li Bin, Zeng Zongqian. 2015. Geological characteristics and prospecting suggestion for the copper polymetallic deposit in Dahuanghua area in Inner Mongolia[J]. *Geology and Resources*,24(6):564–566(in Chinese with English abstract).
- Li Yonggang, Zhai Mingguo, Miao Laicheng, Xue Liangwei, Zhu Jiawei, Guan Hong. 2004. Ore–forming fluids of the Anjiayingzi gold deposit in Chifeng region, Inner Mongolia[J]. *Acta Petrologica Sinica*,20(4):961–968.
- Li Yonggang, Zhai Mingguo, Yang Jinhui, Miao Laicheng, Guan Hong. 2003. Gold mineralization age of the Anjiayingzi gold deposit in Chifeng County, Inner Mongolia and implications for Mesozoic metallogenic explosion in North China[J]. *Science in China*, 33(10): 960–966 (in Chinese with English abstract).
- Liu Bin, Duan Guanxian. 1987. The density and isochoric formulae for NaCl–H₂O fluid inclusions and their applications[J]. *Acta Mineralogica Sinica*,7(4):345–352(in Chinese with English abstract).
- Liu Bin. 1999. Fluid Inclusions Thermodynamics[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1–290 (in Chinese without English abstract).
- Liu Gang. 1996. Study on mineralizing physical–chemical conditions of gold deposits in Chifeng–Chaoyang district, China[J]. *Gold Geology*, 2(4):43–49.
- Liu Yunfei, Hou Zengqian, Yang Zhiming, Xie Yulin, Li Yinxu, Du Denghu. 2011. Study on fluid inclusion of Nongruri gold deposit, Tibet, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(7):2150–2158(in Chinese with English abstract).
- Lu H Z, Fan H R, Ni P, Ou Guangxi, Shen Kun, Zhang Wenhui. 2004. Fluid inclusion[M]. Beijing: Science Press, 1–487(in Chinese).
- Ludwig K R. 2003. ISOPLLOT3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 1–70.
- Luo Zhenkuan, Miao Laicheng, Guan Kang, Qiu Youshou. 2001. SHRIMP U–Pb zircon age of magmatic rock in Paishanlou gold mine district, Fuxin, Liaoning Province, China[J]. *Geochimica*,30(5): 483–490(in Chinese with English abstract).
- Luo Zhenkuan, Miao Laicheng, Guan Kang. 2000. Discussion on the metallogenic epoch of gold deposit on north fringe of North China platform[J]. *Gold Geology*, 6(2):70–76(in Chinese with English abstract).
- Miao Laicheng, Fan Weiming, Zhai Mingguo, Qiu Y M, McNaughton N J, Groves D I. 2003. Zircon SHRIMP U–Pb geochronology of the granite intrusions from Jinchanggouliang–Erdaogou gold orefield and its significance[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 19(1):71–80(in Chinese with English abstract).
- Miao Laicheng, Qiu Yumin, Guan Kang, Qiu Youshou, Luo Zhenkuan. 2000. SHRIMP chronological study of the granitoids and mineralization in the Hadamengou gold deposit, Inner Mongolia[J]. *Mineral Deposits*, 19(2):182–190.
- Mu Rishen, Han Zhongwen, Xu Qingguo. 1985. Study of Metallogenic Regularity of Gold Deposits in China[M]. Shenyang: Shenyang Institute of Geology and Mineral Resources.
- Pirajno F. 2009. Hydrothermal Processes and Mineral Systems[M]. Springer, 1–1250.
- Shao Jidong, Wang Shouguang, Zhao Wentao, Jia Heyi, Wang Xinliang, Zhang Mei, Ren Yiping. 2007. Geological characteristics and prospecting potential in Daxinganling region[J]. *Geology and Resources*,16(4): 252–256.
- Shen Weizhou, Huang Yaosheng. 1987. Stable Isotope Geochemistry [M]. Beijing: Atomic Energy Press, 1–56 (in Chinese).
- Sun Fengyue, Jin Wei, Li Bile. 2000. Considerations on the mineralizing depth of hydrothermal lode gold deposits[J]. *Journal of*

- Changchun University of Science, 30(supp.):27-29.
- Sun Zhenjun. 2013. Study on Gold Deposits Mineralization in Chifeng- Chaoyang Region, Northern Margin of North China Craton[D]. Jilin University:10-67(in Chinese with English abstract).
- Wang Shiqi, Sun Chenzhi, Cui Wen yuan. 1994. Geology of Gold Deposits in Chifeng Region, Inner Mongolia[M]. Huhhot:Inner Mongolia Peoples Publishing house,206- 213 (in Chinese with English abstract).
- Wei Cundi. 2001. Classification and Research on Gold- deposits of Long Distance Type and Short Distance Type in Chifeng- Chaoyang area[D]. Changchun: Jilin University(in Chinese with English abstract).
- Wiedenbeck M, AlleP, CorfuF, Griffin W L, Meier M, Oberli F, von Quadt A, Roddick J C, Spiegel W. 1995.Three natural zircon standards for U-Th-Pb,Lu-Hf,trace element and REE analyses[J]. Geostandards and Geoanalytical Research,19(1):1-23.
- Wu Fuyuan, Li Xianhua, Yang Jinhui, Zheng Yongfei. 2007. Discussion on the petrogenesis of granites.Acta Petrologica Sinica, 23(6):1217-1238.
- Xu Wanchen. 2007. Geochemistry and significance of Erdaogou gold deposit in Beipiao,Liaoning Province[J]. Geology and resources,16 (4):263-269(in Chinese).
- Xue Wei, Peng Yuanbiao, Li Xiaowei, Yan Pengbin, Jiang Xiaojun, Han Jun, Liu Xiaogang. 2019. Study on the mineragraphy and geochronology of Hetaoba uranium deposit in Guyuan-Hongshanzi uranium metallogenic belt[J]. Acta Petrologica Sinica, 35 (4): 1085-1094(in Chinese with English abstract).
- Yang Jianjun, Feng Ji, Li Peng. 2018. Metalloging regularity and prospecting potential of iron-copper-gold-polymetallic deposits in Alxa area in Inner Mongolia[J]. Geology and Resources,27(2): 160-165(in Chinese with English abstract).
- 陈井胜,刘森,李斌,李伟,李崑崑. 2015. 奈林沟金矿成矿时代[J]. 黄金, 36(9):13-19.
- 陈伟军,刘红涛. 2006. 赤峰—朝阳金矿化集中区主要金矿类型及地质特征研究[J]. 黄金科学技术,14(5):1-7.
- 陈旭,孙国胜,敖冬孙珍军,王春光. 2014. 内蒙古敖汉旗奈林沟金矿床流体包裹体特征及矿床成因[J]. 世界地质,33(2):399-406.
- 陈衍景,倪培,范宏瑞,Pirajno F,赖勇,苏文超,张辉. 2007. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征[J]. 岩石学报,23(9): 2085-2108.
- 陈衍景. 2010. 初论浅成作用和热液矿床成因分类[J]. 地学前缘,17 (2):27-34.
- 丰成友,姬金生,薛春纪,张连昌. 1999. 东天山西滩浅成低温热液金矿床地质特征及成因分析[J]. 新疆地质,17(1): 1-7.
- 丰成友. 2002. 青海东昆仑地区的复合造山过程及造山型金矿床成矿作用[D]. 北京:中国地质科学院.
- 冯国胜,孙国胜,敖冬王春光. 2014. 内蒙古奈林沟金矿床C-H-O同位素地球化学特征[J]. 黄金, 35(2):18-22.
- 胡芳芳,范宏恩,杨奎锋. 2007. 胶东牟平邓格庄金矿床流体包裹体研究[J]. 岩石学报,23(29): 2155-2163.
- 黄锡强,陈正乐,王平安,杨农,郅剑. 2008. 江西相山铀矿田沙洲矿床流体包裹体研究[J]. 地质力学学报,14(12): 176-182.
- 李双林,欧阳自远. 1998. 兴蒙造山带及邻区的构造格局与构造演化[J]. 海洋地质与第四纪地质,18(3):45-54.
- 李伟,陈井胜,刘森,李斌,曾宗前. 2015. 内蒙古大黄花地区铜多金属矿地质特征及找矿建议[J]. 地质与资源,24(6):564-566.
- 李文博,赖勇,孙希文,王保国. 2007. 内蒙古白乃庙铜金矿床流体包裹体研究[J]. 岩石学报,23(9): 2165-2175.
- 李永刚,翟明国,苗来成薛良伟,朱嘉伟,关鸿. 2004. 内蒙古赤峰地区安家营子金矿成矿流体研究[J]. 岩石学报,20(4):961-968.
- 李永刚,翟明国,杨进辉,苗来成,关鸿. 2003. 内蒙古赤峰安家营子金矿成矿时代以及对华北中生代爆发成矿的意义[J]. 中国科学(D辑),33(10):960-966.
- 刘斌,段光贤. 1987. NaCl-H₂O溶液包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 矿物学报,7 (4): 345-352.
- 刘斌. 1999. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社,1-290.
- 刘纲. 1996. 赤峰—朝阳地区金矿成矿物理化学条件研究[J]. 黄金地质,2(4):43-49.
- 刘云飞,侯增谦,杨志明,谢玉玲,李应翔,杜等虎. 2011. 西藏弄如日金矿流体包裹体研究[J]. 岩石学报,27(7):2150-2158.
- 卢焕章,范宏瑞,倪培欧光习,沈昆,张文淮. 2004. 流体包裹体[M]. 北京:科学出版社,1-444.
- 罗镇宽,苗来成,关康,裘有守. 2001. 辽宁阜新排山楼金矿区岩浆岩锆石 SHRIMP 定年及其意义[J]. 地球化学,30(5):483-490.
- 罗镇宽,苗来成,关康. 2000. 华北地台北缘金矿成矿时代讨论[J]. 黄金地质,6(2):70-76.
- 苗来成,Yurmin Qiu,关康,裘有守,罗镇宽. 2000. 哈达门沟金矿床成矿时代的定点定年研究[J]. 矿床地质,19(2):182-190.
- 苗来成,范蔚茗,翟明国,Qiu Y U,McNaughton N J, Groves D I. 2003. 金厂沟梁—二道沟金矿田内花岗岩类侵入体锆石的离子探针 U-Pb 年代学及意义[J]. 岩石学报,19(1): 71-80.
- 母瑞身,韩仲文,徐庆国. 1985. 中国金矿成矿规律的初步研究[M]. 沈阳:沈阳地质矿产研究所.
- 邵积东,王守光,赵文涛,贾和义,王新亮,张梅,任亦萍. 2007. 大兴安岭地区成矿地质特征及找矿前景分析[J]. 地质与资源,16(4): 252-256.
- 沈渭洲. 1987. 稳定同位素地质[M]. 北京:原子能出版社,1-56.
- 孙丰月,金魏,李碧乐. 2000. 关于脉状热液金矿床成矿深度的思考[J]. 长春科技大学学报,30 (增刊):27-29.
- 孙珍军. 2013. 华北克拉通北缘赤峰—朝阳地区金矿成矿作用研究[D]. 长春:吉林大学.
- 王时麒,孙承志,崔文元. 1994. 内蒙古赤峰地区金矿地质[M]. 呼和浩特:内蒙古人民出版社,206-213.
- 魏存弟. 2001. 赤峰—朝阳金矿化区远程式及近程式金矿类型的划分及其研究[D]. 长春:吉林大学.
- 吴福元,李献华,杨进辉,郑永飞. 2007. 花岗岩成因研究的若干问题[J]. 岩石学报,23(6):1217-1238.
- 徐万臣. 2007. 辽宁北票二道沟金矿床地球化学特征及意义[J]. 地质与资源,16(4):263-269.
- 薛伟,彭云彪,李小伟,剡鹏兵,蒋孝君,韩军,刘小刚. 2019. 沽源—红山子铀成矿带核桃坝铀矿床矿相学和成矿年代学研究[J]. 岩石学报,35(4):1085-1094.
- 杨建军,冯骥,李鹏. 2018. 内蒙古阿拉善地区铁铜多金属矿成矿规律及其找矿前景[J]. 地质与资源, 27(2): 160-165.

附中文参考文献