

河南嵩县槐树坪金矿流体包裹体特征及其地质意义

李俊生¹, 许栋^{2,3}, 梁贞¹, 杨春蕾²

(1. 河南省地质矿产勘查开发局第二地质矿产调查院, 河南 郑州 450002; 2. 河南理工大学资源环境学院, 河南 焦作 454003; 3. 河南省地质矿产勘查开发局第三地质矿产调查院, 河南 信阳 464000)

摘要:槐树坪金矿是赋存于熊耳群缓倾斜层间挤压破碎带内的石英脉+蚀变岩型金矿床。热液成矿过程可划分为3个阶段:Ⅰ.乳白色石英脉-团块状黄铁矿阶段;Ⅱ.烟灰色石英脉-多金属硫化物阶段;Ⅲ.石英-碳酸盐脉阶段。对流体包裹体进行显微测温 and 拉曼光谱分析,研究表明,Ⅰ、Ⅱ成矿阶段石英中流体包裹体主要发育 $\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 型、纯 CO_2 型和 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 溶液型包裹体,Ⅲ成矿阶段石英中主要发育 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 溶液型包裹体,成矿Ⅰ阶段到Ⅲ阶段包裹体均一温度变化为 $189\sim 439^\circ\text{C}\rightarrow 145\sim 351^\circ\text{C}\rightarrow 145\sim 267^\circ\text{C}$,盐度变化为 $6.98\%\sim 10.29\%\rightarrow 2.03\%\sim 11.71\%\rightarrow 2.89\%\sim 15.04\%$,成矿早阶段流体由中温、中低盐度 $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}-\text{CO}_2$ 体系向晚阶段低温、低盐度 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ 体系演化。判定成矿流体来源于岩浆热液,具有深源特征。成矿流体中金主要以 $\text{Au}(\text{HS})$ 形式迁移,其次为 $\text{Au}_2(\text{HS})_2\text{S}^{2-}$ 。

关键词:流体包裹体;槐树坪金矿;嵩县;河南

中图分类号:P618.51

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2017)04-0115-13

The Fluid Inclusion Characteristics and Significance of the Huaishuping Gold Deposit in Song County, Henan province

LI Junsheng¹, XU Dong^{2,3}, LANG Zhen¹, YANG Chunlei²

(1. No. 2 Institute of Geological & Mineral Resources Survey of Henan, Zhengzhou 450002, Henan, China;
2. Institute of Resources and Environment, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Henan, China;
3. No. 3 Institute of Geological & Mineral Resources Survey of Henan Geological Bureau, Xinyang 464000, Henan, China)

Abstract: The Huaishuping gold deposit is a quartz vein gold deposit, which was occurred in slowly inclined interlayer extrusion zone of Xiong'er Group. Hydrothermal ore-forming process of this deposit can be divided into three stages: stage I - milky quartz vein-phase crumb pyrite quartz vein, stage II - smoke gray-polymetallic sulfide phase, and stage III - quartz-carbonate phase. Through the studies of fluid inclusion microscopic temperature measurement and Laser-Raman spectra analysis, the results show that: three types of fluid inclusions in stage I and II are identified as $\text{CO}_2-\text{H}_2\text{O}$ type, pure CO_2 and $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ solution type, while stage III quartz

收稿日期:2016-10-05;修回日期:2017-07-26

基金项目:中国地质调查局科研基金“河南省熊耳山-外方山金多金属矿整装勘查区专项填图与技术应用示范”(12120114035401),河南省“两权”价款项目科研基金“河南省嵩县东湾-槐树坪金矿床地球化学特征及找矿预测研究”(2014-17)资助

作者简介:李俊生(1971-),男,河南内黄人,高级工程师,主要从事矿产勘查及矿床学研究工作。E-mail: lijunshen1001@163.com

inclusions main contain the $\text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ solution type. From the metallogenic stage I to stage III, the homogenization temperatures of fluid inclusions are $189 \sim 439^\circ\text{C} \rightarrow 145 \sim 351^\circ\text{C} \rightarrow 145 \sim 267^\circ\text{C}$, while their salinities are $6.98\% \sim 10.29\% \rightarrow 2.03\% \sim 11.71\% \rightarrow 2.89\% \sim 15.04\%$. The ore-forming fluid was evolved from $\text{H}_2\text{O} - \text{NaCl} - \text{CO}_2$ system, which is characterized by changing from medium temperature and medium-low salinity to low temperature and salinity $\text{NaCl} - \text{H}_2\text{O}$ system. It's determined that the ore-forming fluid was derived from magmatic hydrothermal, which has the characteristics of deep source. And then, it's suggested that the ore-forming fluid was mainly migrated in the form of $\text{Au}(\text{HS})$, secondly by $\text{Au}_2(\text{HS})_2\text{S}^{2-}$.

Keywords: fluid inclusion; Huaishuping gold deposit; Song County; Henan Province

豫西嵩县槐树坪金矿是近年来在熊耳山矿集区发现的赋存于次级拆离断层形成的缓倾斜层间挤压破碎带内的首个规模达到大型的石英脉+蚀变岩型金矿床(谢小峰等,2013;梅秀杰等,2014)。对该矿床的研究成果较少,主要集中在地质特征(徐红伟等,2009)、构造特征(梅秀杰等,2008,2014,)、矿石矿物特征(谢小峰等,2013;杨彧等,2014)及地球化学特征(张参辉等,2013)等方面,缺乏成矿流体的研究及资料,进而影响对矿床成因、成矿物质来源及成矿流体来源的研究。鉴于此,笔者采用流体包裹体岩相学、显微热力学及激光拉曼显微探针等方法,对槐树坪金矿床不同成矿阶段石英中的流体包裹体进行测试分析,报道流体包裹体研究成果,探讨成矿流体性质、演化特征,为该区该类型矿床的深入研究提供有效信息。

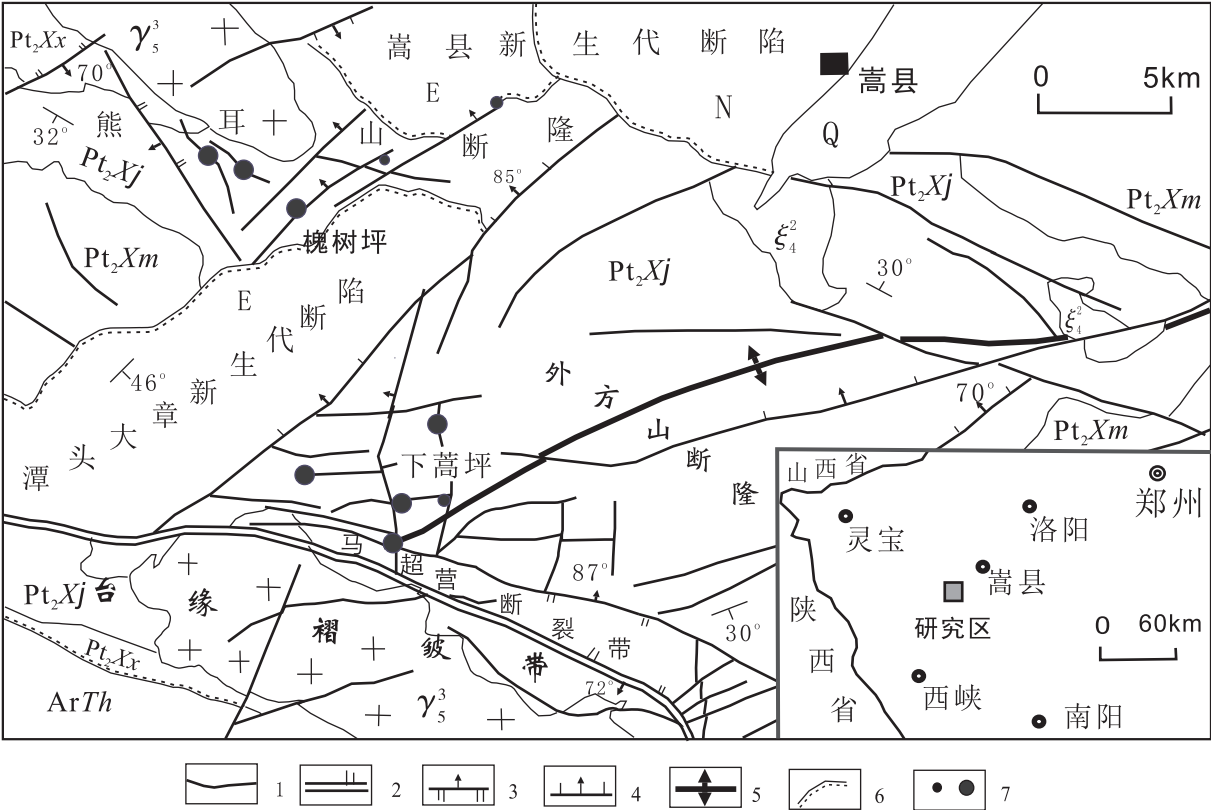
1 成矿地质背景

槐树坪金矿位于豫西嵩县大章镇,大地构造位于华北地块南缘、秦岭褶皱系北缘、熊耳山断隆与外方山断隆的结合地带,受到华北板块、北秦岭褶皱带、南秦岭褶皱带以及扬子板块四大构造单元长期且复杂的构造作用及影响(张参辉等,2013;庞绪成等,2011;杨贺杰等,2009;郭爱锁等,2014;杨东潮等,2012)。华北板块与扬子板块发生碰撞,形成著名的秦岭造山带(陈衍景等,2002,2004)。230~220Ma 秦岭地区大规模碰撞形成一系列大规模陆内俯冲(或A型俯冲)带,由南向北产生一系列逆冲推覆构造,并形成一系列断层。伴随秦岭造山运动,区域上形成众多中酸性岩浆岩,同时大规模成矿流体沿断裂构造运移,并在有利部位沉淀富集成矿,从而形成区域上银、金、铅、锌、钼等多金属矿带(吴发

富等,2012;王福贵等,1991;郭保健等,2005;邱庆伦等,2008)。

太古宙时期广泛的基性-中基性-酸性火山岩的喷发和超基性岩的侵入,经历后期强烈的区域变质和混合岩化作用,形成太华群变质岩系,构成熊耳山地区和华北克拉通南缘最古老基底岩系(徐红伟等,2009)。中元古代熊耳群火山岩大面积裂隙式喷溢,形成巨厚状熊耳群安山岩系,构成广布于太华群结晶基底之上的第一盖层,是区域上仅次于太华群的主要含矿岩系。晚期一些中基性-酸性岩脉的侵入,形成区内广泛分布于太华群中的辉绿岩、闪长岩、石英闪长岩脉(WANG Changming et al, 2013)。

区域构造运动强烈,以断裂构造为主,褶皱不发育,沿太华群结晶基底与熊耳群盖层的不整合面发育拆离断层与变质核杂岩,区域主要发育有中-新生代滑脱拆离断层的次级缓倾斜断层(梅秀杰等,2008,2014)。区域上断裂构造格局错综复杂,按方向大致可以分为近东西向、北东-北北东向、南北向3组(图1)(李连涛等,2009;刘红樱等,1998;丁士应等,1999)。近东西向马超营断裂为全区的主干断裂,形成时间早,形成初期为熊耳群火山喷发提供通道(刘红樱等,1998)。北东-北北东向断裂为发育于马超营断裂北盘(上盘)的一系列区域性剪切断裂带,自西向东有康山-上官断裂、焦园断裂、东湾F₁断裂、槐树坪-瑶沟断裂束和杨寺断裂。该组断裂主要形成及活动时期为白垩纪-新生代,具正断层性质,表现为强烈的拉张特征,大致呈等距性分布(15~18 km)。该组构造控制了该区几个新生代断陷盆地的形成,是区内最发育并且是控矿导矿的主要构造带(孙华山等,2011)。南北向断裂区域不是很发育,以F₂₂万岭断裂组为代表。



Q. 第四系;N. 新近系;E. 古近系;Pt₂X. 中元古界熊耳群;Pt₂Xm. 马家沟组;Pt₂Xj. 鸡蛋坪组;Pt₂Xx. 许山组;ArTh. 太古界太华群;
γ₅³. 燕山晚期花岗岩;ξ₄². 华力西期正长岩;1. 断层;2. 区域性大断层;3. 逆断层;4. 正断层;5. 背斜;6. 不整合界线;7. 金矿床(点)

图 1 研究区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the deposit area

中生代燕山期岩浆岩分布面积广、岩体规模大,中酸性岩浆侵位于太华群变质岩和熊耳群火山岩中,形成深成相重熔型花岗岩岩基(聂政融等,2015),区域出露有合峪复式岩体、五丈山二长花岗岩体及花山似斑状复式花岗岩体(吴发富等,2012;胡海珠等,2006)。

2 矿床地质特征

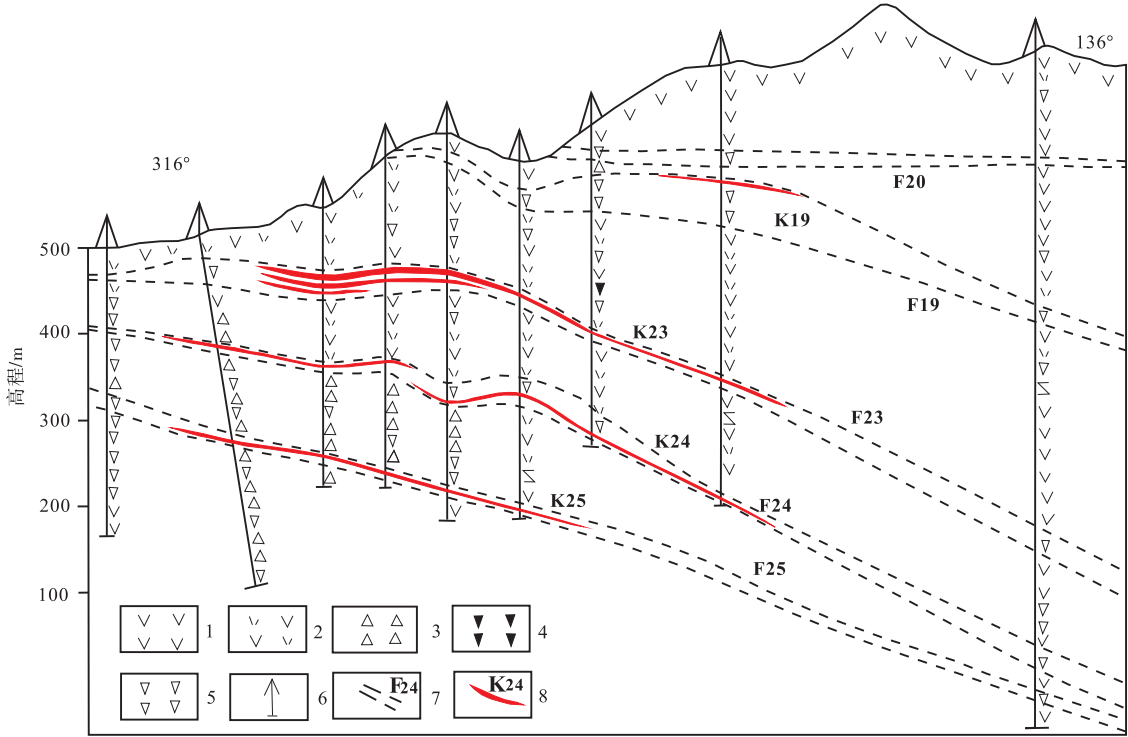
矿区出露地层主要有中元古界长城系熊耳群鸡蛋坪组(ChXj)、古近系高峪沟组(E₁g)及第四系(Q)。矿床的主要赋矿层位有熊耳群中酸性火山岩系及火山碎屑沉积岩。

矿区构造以北东向压扭性断裂为主,其次为北北东向、北北西向、近东—西向。北东向断裂成群分布,近于平行,形成沿熊耳群内部分布的缓倾斜构造组。缓倾斜断裂构造组属印支造山晚期伸展滑脱断裂构造系统,是区域上中生代缓倾斜滑脱拆离断层

的次级构造,其特点为数条甚至数十条成组出现,断裂组内的单条断裂近于平行,相邻断裂之间的间距在3~200 m,产状与安山岩地层基本一致,倾向135°,倾角10°~30°。缓倾斜断裂在矿区地表出露主要有F₁₃、F₁₆、F₁₇、F₁₈、F₁₉、F₂₁等,隐伏缓倾斜构造主要有F₂₀、F₂₃、F₂₄、F₂₅、F₂₆等。其中赋存于F₂₃、F₂₄构造内的K₂₃、K₂₄矿体是该区主要矿体。K₂₃、K₂₄矿体均为盲矿体,矿体严格受破碎带控制。K₂₃由3条近于平行的矿体组成,K₂₄矿体尖灭再现、尖灭侧现普遍。矿体整体呈层状、舒缓波状(图2)。

区内与矿化有关岩浆岩主要为燕山期中酸性侵入岩、五丈山二长花岗岩体,其出露矿区北部,槐树坪矿区主要金矿体沿五丈山岩体边界展布。

槐树坪金矿区矿体类型为赋存于隐伏缓倾斜层间挤压破碎带内的石英脉+蚀变岩型矿体。矿石按自然类型分为氧化矿和原生矿2种,按矿物成分及结构构造可分为浸染状黄铁矿金矿石、细脉—浸染状黄铁矿金矿石、脉状—网脉状黄铁矿金矿石、碎裂—角



1. 安山岩;2. 英安岩;3. 火山角砾岩;4. 碎裂岩;5. 构造角砾岩;6. 见矿(矿化)钻孔;7. 断层及编号;8. 矿体及编号

图 2 槐树坪金矿主要矿体剖面图

Fig. 2 The geological profile of main ore body in Huaishuping gold deposit

砾状金矿石。矿床蚀变类型主要有硅化、钾长石化、绢云母化、碳酸盐化、高岭石化、绿帘石化和绿泥石化。金属矿化为黄铁矿化、方铅矿化。其中硅化、钾化、黄铁矿化与金矿化关系最为密切(谢小峰等, 2013)。

笔者根据野外观察、矿脉穿插关系以及对矿石的岩矿鉴定和分析,将成矿分为 3 个阶段:Ⅰ. 乳白色石英脉-团块状黄铁矿阶段,早期张性-张扭性断裂活动,形成角砾-裂隙充填型矿化,黄铁矿晶型较好,粒径约为 2~5 mm,含矿性差(图 3a);Ⅱ. 烟灰色石英脉-多金属硫化物阶段,形成细脉充填型矿化,常见方铅矿化及黄铜矿化,黄铁矿晶型较差,粒径为 1~2 mm,含矿性好,为金矿化的主要成矿阶段(图 3b);Ⅲ. 石英-碳酸盐脉阶段(图 3c),胶结Ⅰ、Ⅱ期石英晶体残块。

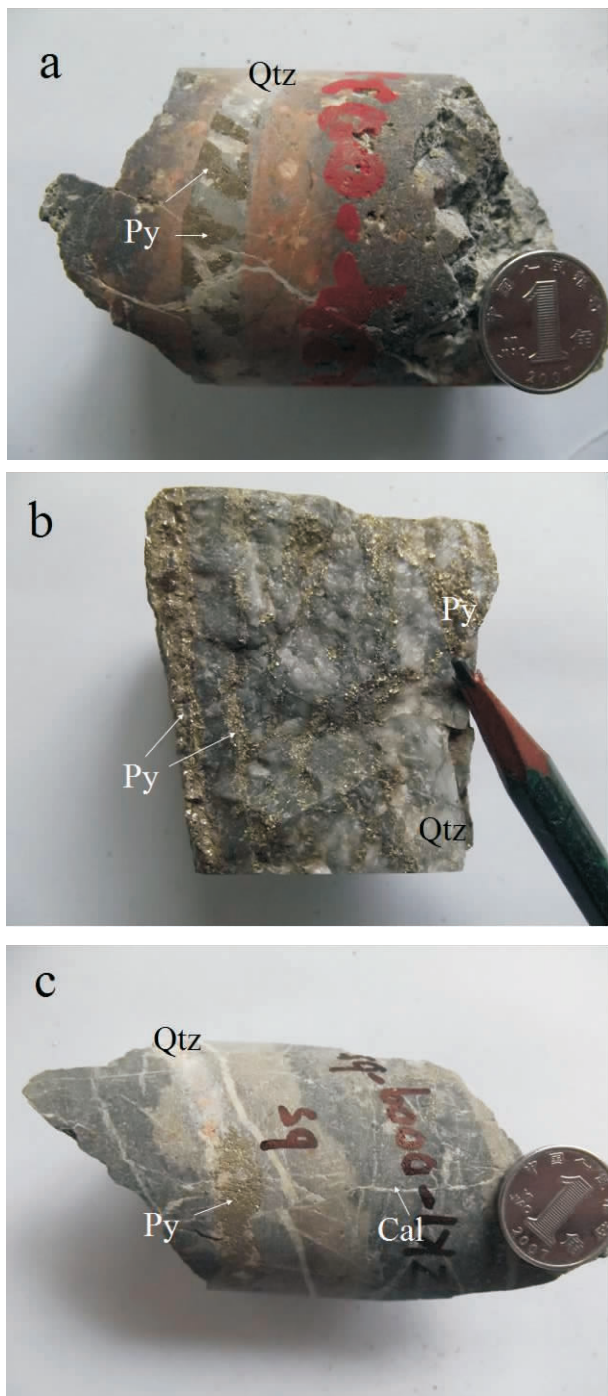
3 流体包裹体特征

3.1 样品采集及研究方法

本次研究以Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ阶段矿石石英内流体包裹

体为主要研究对象,样品均采自分布在 200~600 m 的高程范围内的见矿钻孔中,主要包括 K₁₉ 矿体、K₂₃ 矿体、K₂₄ 矿体、K₂₅ 矿体。该区流体包裹体冰点温度的测试在中国科学院地球化学研究所(贵阳),使用仪器为英国产 LinkamTH600 冷热两用台(-196~+600℃),测定前应用国际标样(人造纯 H₂O 及 ω(NaCl_{eq})=25% 的 H₂O-NaCl 包裹体)进行系统矫正。本次测试的有效测温样品为 28 件,利用冷冻法对每个流体测温片中容易观察的原生气液包裹体进行冰点温度的测试,测温过程中升温速率为 0.2~5℃/min,相转变温度附近升温速率为 0.2~0.5℃/min,有效测试个数约 400 个。包裹体成分激光拉曼测试选取代表 3 个成矿阶段的石英流体包裹体样品共 4 件。测试单位为中国科学院地球化学研究所(贵阳)完成,仪器为 RenishawRW-1000 型激光拉曼光谱仪,激光束为 514.5 nmAr 原子激光束,输出功率为 20 mW×100%,波速范围为 50~4 000 cm⁻¹。

根据含 CO₂ 包裹体(C 型)所测得的笼合物融化温度,利用 Collins 方法求得含 CO₂ 包裹体盐度。水



a. I 成矿阶段乳白色石英脉及团块状黄铁矿(Py); b. II 成矿阶段烟灰色-多金属硫化物石英脉; c. III 成矿阶段石英-碳酸盐脉;
Py. 黄铁矿; Qtz. 石英; Cal. 方解石

图3 槐树坪金矿3个成矿阶段石英脉型矿石特征图

Fig. 3 Characteristics of three stage ore-forming in the Huaishuping gold deposit

溶液包裹体盐度根据 Bodnar 公式利用水溶液包裹体所测冰点温度计算得出。成矿流体密度、压力等

参数根据显微测温数据利用 Flicor 数据处理程序计算获得。

3.2 流体包裹体岩相学特征

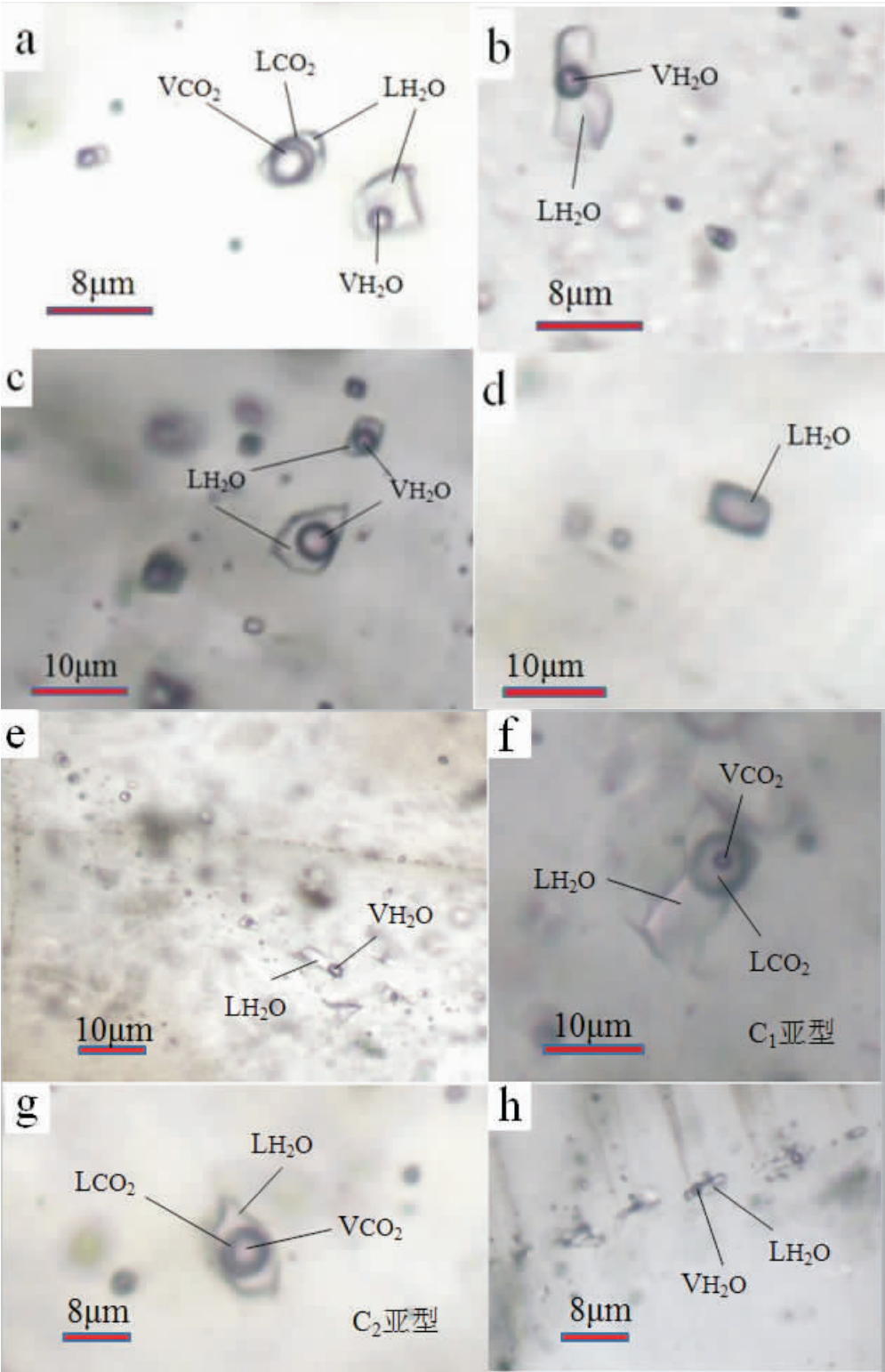
流体包裹体按其捕获时间与主晶矿物形成时间的关系可分为原生和次生流体包裹体。原生包裹体是矿物形成时包裹周围的流体而形成的,而次生包裹体的形成晚于主晶矿物,一般与后期主晶矿物的改造事件有关(孙贺等,2009)。原生包裹体中所含流体是形成主矿物的成岩成矿流体。在矿床地质演化中流体活动大多是多期次的,可能只有某期次是与成矿有关的(即成矿流体)(范建国等,2000)。

根据室温及冷冻回温过程中的相态变化,槐树坪金矿不同成矿阶段石英中流体包裹体有4种类型(图4):气液两相包裹体($V_{H_2O} + L_{H_2O}$)、纯 CO_2 包裹体、含 CO_2 包裹体主要包括 C_1 亚型、 C_2 亚型。 C_1 亚型常温下呈三相($L_{H_2O} + L_{CO_2} + V_{CO_2}$)(图4f), C_2 亚型常温下呈两相($L_{H_2O} + L_{CO_2}$)(图4g),冷冻时液相 CO_2 中出现气相 CO_2 。包裹体整体呈群状分布,也有呈线状、串珠状(图4e、图4h)和孤立状分布。显微镜下石英中原生包裹体的形态不规则,呈椭圆状、似椭圆状、多边形状、似圆状、长柱状、新月状、扁豆状、肾状、纺锤体状等。包裹体个体大小不一,最小不足 $1\ \mu m$,最大可达到 $20\ \mu m$ 以上,多数介于 $2\sim 12\ \mu m$ 之间。气液比主要集中在 $10\%\sim 35\%$,有少数包裹体气液比超过 45% 。

(1)气液两相包裹体(W型),室温下呈 H_2O 气相和 H_2O 液相,各成矿阶段均有出现,气液比 $11\%\sim 21\%$,个体大小不一,变化较大 $4\sim 13\ \mu m$ 。形态呈不规则形、椭圆形、长条形。在成矿早阶段石英中形态多为长条状呈线性分布,属次生包裹体,多为成矿晚阶段的产物。成矿晚阶段石英中较为常见。

(2)含 CO_2 包裹体(C型),主要包括 C_1 亚型、 C_2 亚型。 C_1 亚型常温下呈三相($L_{H_2O} + L_{CO_2} + V_{CO_2}$)(图4f), C_2 亚型常温下呈两相($L_{H_2O} + L_{CO_2}$)(图4g),冷冻时液相 CO_2 中出现气相 CO_2 。包裹体中气相 CO_2 占 CO_2 相体积百分数为 $9\%\sim 21\%$ 。C型包裹体主要发育于早成矿阶段和主成矿阶段石英中。在早成矿阶段石英中形态不规则,大小 $6\sim 11\ \mu m$ 。在主成矿阶段主要为原生包裹体,个体较大,成群或孤立分布。

(3)纯 CO_2 包裹体(PC型),主要分布在主成矿阶段石英中,常温下呈单一相(L_{CO_2}),冷冻至 $-12^\circ C$ 左右会出现气相 CO_2 ,气相 CO_2 所占比例较小 $10\%\sim$



a. 早成矿阶段流体包裹体;b. 主成矿阶段流体包裹体;c. 成矿晚阶段流体包裹体;d. 纯液相流体包裹体;e、h. 线状、串珠状包裹体;f. C₁亚型包裹体;g. C₂亚型包裹体

图 4 槐树坪金矿床流体包裹体显微照片

Fig. 4 Microphotographs of fluid inclusions of the Huaishuping gold deposit

16%,包裹体大小 4~8 μm ,孤立分布,为原生包裹体。

(4)含子矿物包裹体,该类包裹体一般个体较大 8~16 μm ,形态多为椭圆形或近圆形,子矿物有暗色不透明自矿物和无色透明子矿物,孤立状分布,常见于早成矿阶段石英包体中,与 W 型包裹体和 C 型包裹体共生。

3.3 流体包裹体显微测温结果

3.3.1 均一温度

I 成矿阶段:根据实验结果对测温结果做出统

计见表 1。从表 1 中可以看出,I 成矿阶段石英中 W 型包裹体均一温度为 189~439℃,平均 336.36℃,峰值范围 301~383℃(图 5)。C 型包裹体在完全冷冻回温,固态 CO₂ 的融化温度($T_{\text{m,CO}_2}$)区间为-58~-45℃,峰值范围为-56.1~-58.1℃,低于 PC 型初融温度-56.6℃。笼合物融化温度($T_{\text{m,cla}}$)为 4.2~6.3℃,包体内气相 CO₂ 和液相 CO₂ 部分均一温度($T_{\text{h,CO}_2}$)为 24~37℃。C 型包裹体完全均一至液相温度($T_{\text{h,tot}}$)为 351~446℃。

表 1 槐树坪金矿流体包裹体显微测温结果表
Tab. 1 Microthermometric results of fluid inclusions of the Huaishuping gold deposit

成矿阶段	包裹体类型	$T_{\text{h,tot}}$	$T_{\text{m,CO}_2}$	$T_{\text{m,cla}}$	$T_{\text{h,CO}_2}$	$T_{\text{m,ice}}$	密度(g/cm ³)均值	成矿压力(MPa)均值
I	C 型	351~446	-58~-45	4.2~6.3	24~37	—	0.663~0.891	122~220
	W 型	301~383	—	—	—	-1.1~-10.3	0.765	193
II	C 型	243~349	-57.9~-52.7	3.2~10	15.6~36	—	0.837~0.950	35~126
	W 型	227~299	—	—	—	-5.4~-11.9	0.881	95
III	W 型	145~265	—	—	—	-11~-1.7	0.847~0.974	27~76
							0.929	65

注:I、II 成矿阶段 W 型包裹体 $T_{\text{h,tot}}$ 采用峰值范围。测试单位为中国科学院地球化学研究所(贵阳),测试人许栋。

II 成矿阶段:II 阶段石英中 W 型包裹体均一温度为 145~351℃,平均 260.10℃,峰值范围 227.69~299.54℃(图 5)。其中 C 型包裹体初融温度($T_{\text{m,CO}_2}$)为-57.9~-52.7℃,CO₂ 笼合物融化温度($T_{\text{m,cla}}$)为 3.2~10℃,包体内气相 CO₂ 和液相 CO₂ 部分均一温度($T_{\text{h,CO}_2}$)为 15.6~36℃。C 型包裹体完全均一至液相温度($T_{\text{h,tot}}$)为 243~349℃。根据 C 型包裹体求得水溶液相的盐度为 2.03%~11.71%,平均为 7.64%,盐度范围区间较大。

III 成矿阶段:III 成矿阶段石英中包裹体主要为 W 型,均一温度为 145~267℃,平均 210.16℃,峰值范围 194.39~226.17℃(图 5)。

成矿流体温度从成矿早阶段至成矿晚阶段呈平稳下降趋势(图 5)。

3.3.2 冰点温度和盐度

第 I 阶段石英中流体包裹体冰点温度范围为-1.11~-10.38℃,平均为-4.73℃;第 II 阶段石英流体包裹体冰点温度范围为-5.64~-11.99℃,平均为-7.87℃;第 III 阶段石英流体包裹体冰点温度范围为-4.30~-9.85℃,平均为-7.08℃。第 II 阶段、第 III 阶段的流体包裹体冰点温度与第 I 阶

段的流体包裹体相比冰点温度较低。

不同的流体方程是与不同的流体体系相对应,根据 BOZZO 等(1937)盐度计算公式: $w=15.520\,02-1.023\,42t_{\text{m(ela)}}-0.052\,86t_{\text{m(ela)}}^2$ 计算第 I、II 阶段石英包裹体盐度,得出第 I 阶段石英包裹体盐度范围为 6.98%~10.29%,平均为 9.05%;第 II 阶段 C 型石英包裹体盐度范围为 2.03%~11.71%,平均为 7.64%;第 III 阶段石英包裹体盐度计算利用 Hall 等(1988)的盐度计算公式: $w=0.00+1.78t_{\text{m}}+0.044\,2t_{\text{m}}^2+0.000\,557t_{\text{m}}^3$,得到气液两相包裹体盐度为 2.89%~15.04%,平均为 9.36%。全区盐度平均值 8.69%,总体呈低盐度状态(图 5)。

3.4 流体密度和压力估算

根据 C 型包裹体的盐度及均一温度,利用 Flin-cor 流体包裹体计算程序计算出各成矿阶段的流体密度及压力(表 1),从表 1 可以看出,该区成矿流体密度范围为 0.663~0.974 g/cm³,第 I 成矿阶段流体密度范围为 0.663~0.891 g/cm³,均值为 0.765 g/cm³;第 II 成矿阶段流体密度范围为 0.837~0.950 g/cm³,均值为 0.881 g/cm³,第 III 成矿阶段流体密度范围为 0.847~0.974 g/cm³,均值为 0.929 g/cm³。该区

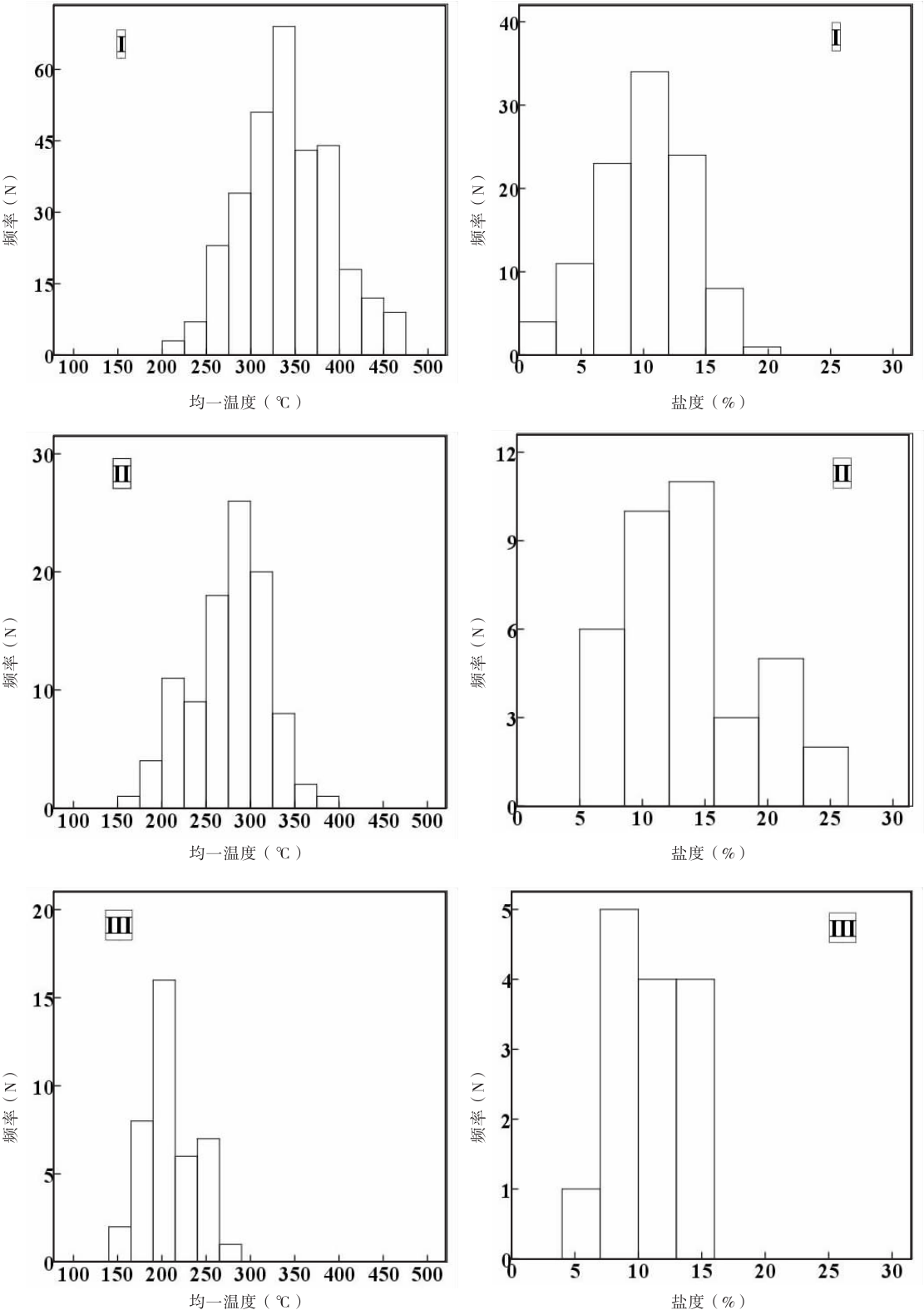


图 5 槐树坪金矿各阶段流体包裹体均一温度和盐度直方图

Fig. 5 Histogram of homogenization temperatures and salinities of fluid inclusions in different stage quartz from Huaishuping gold deposit

成矿流体总体属低密度流体,从早阶段到晚阶段,流体密度有升高的趋势,变化范围相对较小。成矿压力范围为 27~220 MPa,第 I 阶段流体压力范围为 122~220 MPa,第 II 成矿阶段为 35~126 MPa,第 III 阶段为 27~76 MPa,从早阶段到晚阶段,成矿压力有减小的趋势。成矿深度的计算根据孙丰月等(2000)依据 Sibson(1994)的断裂流体垂直分带规律拟合出的脉状热液金矿流体成矿深度与压力计算公式。得出成矿深度为 2.70~11.78 km,主成矿阶段深度为 3.50~9.35 km,平均成矿深度 8.03 km。成矿深度越大,矿化的垂向连续延伸越大(赵财胜等,2005),槐树坪金矿床深部具有较大找矿潜力。

3.5 流体包裹体成分特征

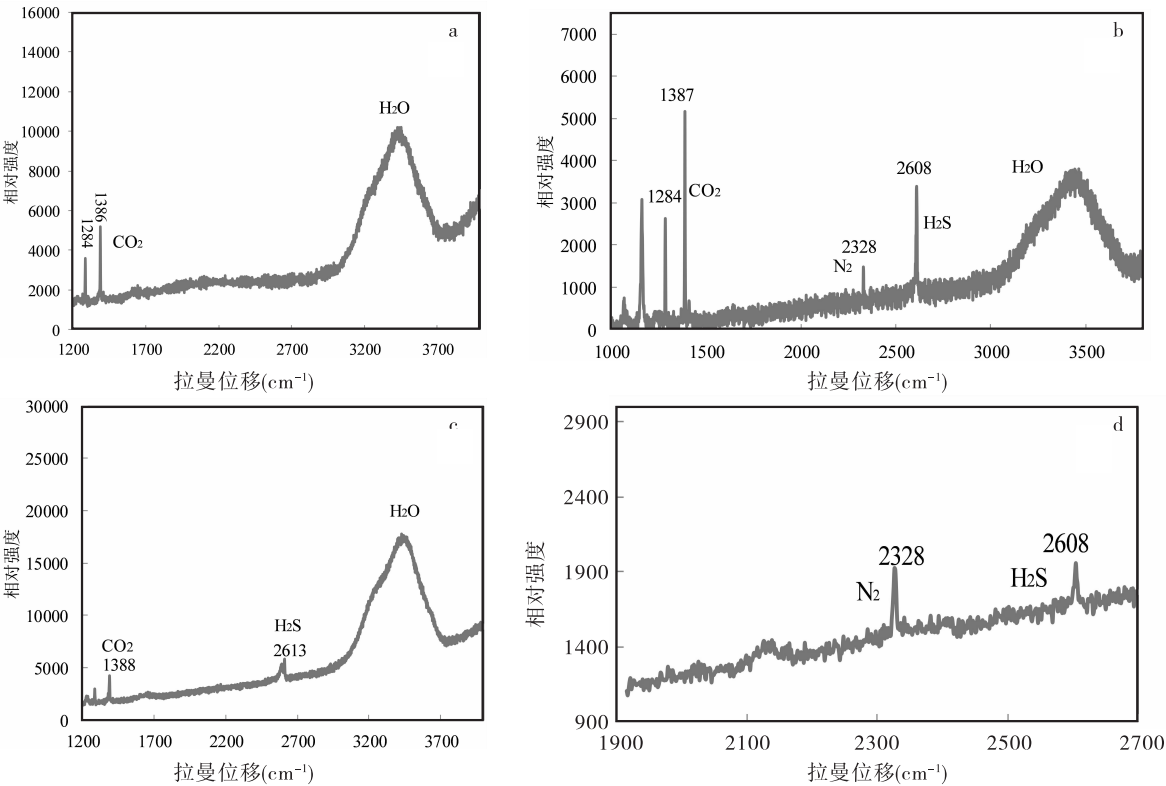
流体包裹体激光拉曼光谱测试表明(图 6),I 成矿阶段石英脉中的 C 型流体包裹体气相成分主要为 CO₂(特征拉曼光谱峰值具有双峰 1 386~1 388 cm⁻¹和 1 284 cm⁻¹),液相成分为 H₂O(特征拉曼光谱峰值 3 645~3 750 cm⁻¹)(图 6a)。II 成矿阶段石英脉中 C 型流体包裹体液相成分主要为 H₂O

(特征拉曼光谱峰值 3 645~3 750 cm⁻¹),气相成分主要为 CO₂(特征拉曼光谱峰值具有双峰 1 386~1 388 cm⁻¹和 1 284 cm⁻¹)、N₂(特征拉曼光谱峰值 2 328~2 330 cm⁻¹)、H₂S(特征拉曼光谱峰值 2 608~2 613 cm⁻¹)(图 6b、图 6c、图 6d),表明主成矿阶段的包裹体成分成分中除了 CO₂和 H₂O 外,含有一定的 H₂S 和 N₂。

4 讨论与结论

4.1 成矿流体性质及演化特征

槐树坪金矿原生流体包裹体较为发育,反映了的成矿流体的基本特征,槐树坪金矿在 I、II 成矿阶段石英中捕获 CO₂-H₂O 包裹体,II 成矿阶段捕获 CO₂-H₂O-H₂S-N₂ 包裹体,成矿初始流体属于 H₂O-NaCl-CO₂ 体系,在第 III 阶段 CO₂ 不发育,包裹体主要为气液两相,流体类型属于 H₂O-NaCl 体系。第 I 阶段流体包裹体均一温度介于 189~439℃,峰值 301~383℃,盐度为 6.98%~10.29%,密度为



a. I 阶段 C 型包裹体气相成分;b、c、d. II 阶段石英中 C 型包裹体气相成分

图 6 流体包裹体气相成分激光拉曼位移图谱

Fig. 6 Laser Raman spectra of fluid inclusion

0.663~0.891 g/cm³;第Ⅱ阶段流体包裹体均一温度为 145~351℃,峰值 227.69~299.54℃,盐度为 2.03%~11.71%,密度为 0.837~0.950 g/cm³;第Ⅲ阶段石英包裹体均一温度为 145~267℃,峰值 194.39~226.17℃,盐度为 2.89%~15.04%,密度为 0.847~0.974 g/cm³。成矿流体从成矿早期至成矿晚期温度逐渐降低,Ⅱ成矿阶段流体代表温度为 227.69~299.54℃,CO₂含量及流体密度略有升高,从均一温度-盐度图(图 7)可以看出早成矿期流体温度与盐度比较集中,说明流体性质较为稳定。主成矿期盐度及温度跨度大,且主成矿期盐度相对早成矿期与成矿晚期较高,4 种类型包裹体共存,同时在Ⅰ、Ⅱ成矿阶段石英只能够流体包裹体测温过程中观察到包裹体的沸腾,指示成矿流体性质发生波动,在成矿过程中发生过沸腾作用(李晶等,2007)。推测流体沸腾作用产生了不同密度的含 CO₂ 流体,有利于金的沉淀。总体说明随着成矿过程的进行,成矿流体是由中温、中低盐度的 H₂O-NaCl-CO₂ 体系向低温、低盐度的 H₂O-NaCl 体系演化。

金的沉淀富集与成矿流体温度、络合物、流体成分、PH、Eh 等物理化学环境密切相关(张兴康等,2014),从还原参数来看(表 2),经历了由小变大再变小的过程,在第Ⅱ阶段,还原参数是最大的,因此还原性也最强。从早阶段到晚阶段,氧逸度(lgfO₂)由大变小,氢逸度(lgfH₂)由小变大,但总体反映成矿环境为弱还原环境。研究表明,在还原环境下,成矿流体中金主要呈硫氢络合物形式迁移(刘英俊等,1991),高温下(>400℃)金-氯络合物对金迁移有利,中温下以 Au(HS)形式搬运,低温下(<250℃)金以 Au₂(HS)₂S²⁻形式迁移(张兴康等,2014)。根据槐树坪金矿的流体据有弱酸性、弱还原性,且在包裹体拉曼光谱分析中有 H₂S 和 N₂ 存在,推断成矿流体中金主要以 Au(HS)形式迁移,其次为 Au₂(HS)₂S²⁻。

4.2 矿床成因及流体来源分析

王炯辉等(2016)研究表明,槐树坪金矿石英的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 值为 10.1‰~14.4‰,成矿流体 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值为 -1.3‰~7.3‰, δD 值为 -95‰~-81‰,与熊耳山地区其他金矿的氢、氧同位素值相近,揭示该区金矿的成矿流体具有共同的来源和演化历史, $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值位于花岗岩和大气降水范围内,显示出岩浆水和大气降水混合的特点,槐树坪金矿床的成矿流体主

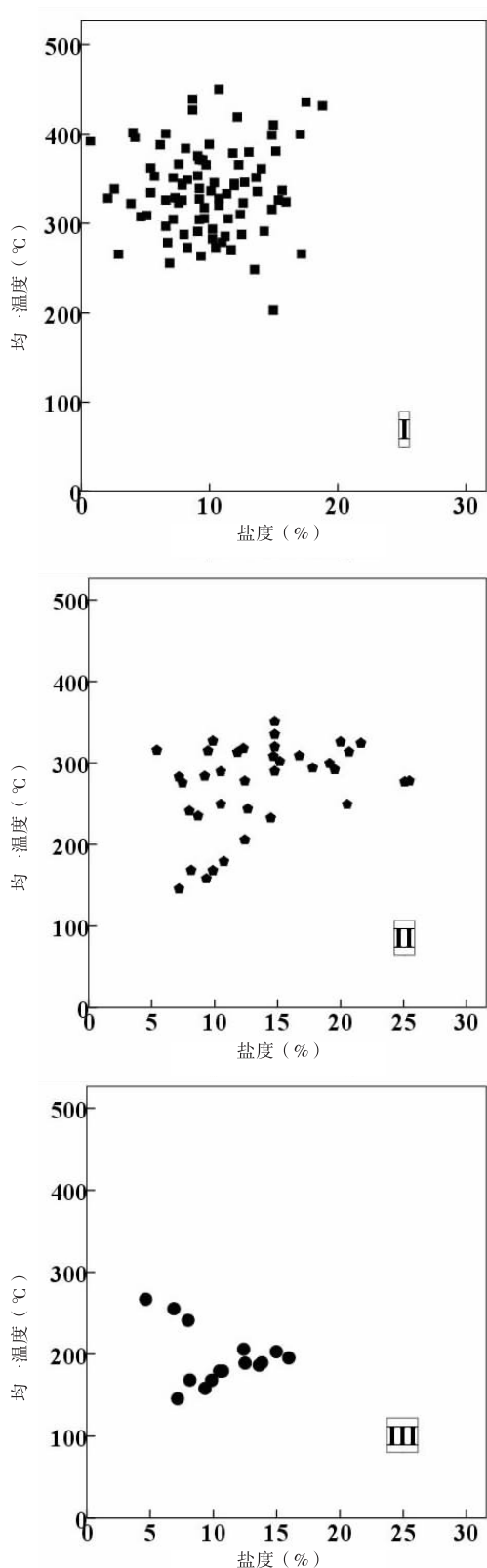


图 7 槐树坪金矿流体包裹体均一温度-盐度图

Fig. 7 Salinity versus homogenization temperature of fluid inclusions from the Huaishuping gold deposit

表 2 不同成矿阶段流体包裹体物化参数^①
Tab. 2 Different mineralization stages of physical and chemical parameters of fluid inclusions results

成矿阶段	样品号	pH	lg(<i>f</i> _{O₂})	lg(<i>f</i> _{H₂})	还原参数
成矿早阶段	HSP-LT-15	5.96	-11.4	2.0	0.007 7
主成矿阶段	LT-9	5.85	-13.0	2.8	0.009 3
成矿晚阶段	LT-10	5.77	-15.0	3.8	0.008 6

注:据孙华山(2012)研究报告整理。

要由岩浆水和大气降水组成,成矿主阶段以岩浆水为主,晚期有较多大气降水的加入(王炯辉等,2016)。

槐树坪金矿成矿流体温度由高温向低温呈梯度递减,温度降低明显,说明后期混入了大气降水。根据孙华山^①流体包裹体成分研究发现早成矿阶段→主成矿阶段→晚成矿阶段流体中, $w(\text{CO}_2)/w(\text{H}_2\text{O})$ 值变化为 $0.22 \rightarrow 0.37 \rightarrow 0.15$;当 $w(\text{CO}_2)/w(\text{H}_2\text{O})$ 小于 0.5 可作为判别岩浆热液型矿床的依据(陈衍景,2007),因此可判定该矿区成矿流体来源于岩浆热液。 $w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+)$ 值变化为 $2.63 \rightarrow 1.4 \rightarrow 1.81$; $w(\text{Cl}^-)/w(\text{SO}_4^{2-})$ 值变化 $0.24 \rightarrow 1.61 \rightarrow 0.7$; $w(\text{F}^-)/w(\text{Cl}^-)$ 值各阶段均较小,介于 $0.09 \sim 0.35$ 。反映成矿早阶段到晚阶段 Na^+ 和 CO_2 由多变少, SO_4^{2-} 在成矿初期相对富集的特征,较高的 $w(\text{Na}^+)/w(\text{K}^+)$ 和 $w(\text{CO}_2)/w(\text{H}_2\text{O})$ 值,表明该区金矿成矿流体具有深源特征。

该区属熊耳山地区,印支期秦岭造山带华北板块与扬子板块的对接,并在秦岭主造山阶段结束时完成了强大的俯冲碰撞挤压作用,从而中国南北两大块体成为一个稳定的克拉通陆块。印支期构造造成古老地幔柱重新活动和岩石圈的拆沉作用,造成地幔热液上涌,含矿热液向浅部运动,并产生大量的深源含矿岩浆岩;到燕山期,地壳处于上升拉张环境,构造作用使得花岗质岩浆沿马超营深大断裂和洛宁山前断裂上升侵位,形成大范围的中-酸性花岗岩,带来新的成矿物质。受构造运动影响,华北板块重新活化,从而导致该区发生了大规模的岩浆侵入和火山喷发,热液流体携带金及多金属元素在火山机构及其附近得到富集;同时,岩浆活动的巨大热能及区域性的多期多阶段的断裂构造活动不断驱使金从丰度值高的太华群和熊耳群中活化转移,再加上大气降水沿构造裂隙下渗,与初始成矿热液发生混合,

造成成矿热液物理化学条件的骤变,并在构造破碎带等开放空间交代断层岩(角砾岩),在有利部位金富集成矿,最后定位形成构造蚀变岩型+石英脉金矿床。

5 结论

- (1)槐树坪金矿是赋存于熊耳群缓倾斜层间挤压破碎带内的中浅成中温热液蚀变石英脉+蚀变岩型金矿床。其热液成矿过程可划分为Ⅰ.乳白色石英脉-团块状黄铁矿阶段,Ⅱ.烟灰色石英脉-多金属硫化物阶段,Ⅲ.石英-碳酸盐脉阶段。其中第Ⅱ阶段为金的主要矿化阶段。
- (2)槐树坪矿区主要发育 $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 型、纯 CO_2 型和 $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ 溶液型包裹体。笔者根据拉曼光谱成分分析显示流体包裹体的气相成分以 CO_2 、 H_2O 为主,含少量 N_2 、 H_2S ;Ⅰ、Ⅱ成矿阶段成分特征属 $\text{H}_2\text{O-NaCl-CO}_2$ 体系,Ⅲ成矿阶段属 $\text{H}_2\text{O-NaCl}$ 体系,成矿流体由富 CO_2 向贫 CO_2 演化,主成矿阶段流体温度峰值范围为 $228 \sim 300^\circ\text{C}$,成矿流体总体具有中温、富 CO_2 、低盐度、低密度特点。
- (3)槐树坪金矿流体环境呈现出弱还原性、弱酸性特征,成矿流体中金主要以 $\text{Au}(\text{HS})$ 形式迁移,其次为 $\text{Au}_2(\text{HS})_2\text{S}^{2-}$ 。

参考文献(References):

陈衍景. 中国区域成矿研究的若干问题及其与陆-陆碰撞的关系[J]. 地学前缘,2002, 9(4): 319-328.

CHEN Yanjing. Several Important Problems in Study of Regional Metallogenesis in China: Their Relationship to Continental Collision [J]. Earth Science Frontiers, 2002, 9(4): 319-328.

陈衍景,陈华勇,ZAW K.,等. 中国陆区大规模成矿的地球动力学:以夕卡岩型金矿为例[J]. 地学前缘, 2004, 11(1): 57-83.

CHEN Yanjing, CHEN Huayong, K. ZAW, et al. The Geodynamic Setting of Large-scale Metallogenesis in Mainland China, Exemplified by Skarn Type Gold Deposits [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(1): 57-83.

陈衍景,倪培,范宏瑞,等. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征[J]. 岩石学报, 2007, 23(09): 2085-2108.

① 孙华山,黄霞,樊克峰,等. 河南省嵩县矿集区东湾-槐树坪-七亩地沟一带金矿成矿规律与成矿预测研究,中国地质大学(武汉),河南豫矿资源开发有限公司,河南省地矿局第二地质队,2012.

- CHEN Yanjing, NI Pei, FAN Hongrui, et al. Diagnostic Fluid Inclusions of Different Types Hydrothermal Gold Deposits [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(09): 2085-2108.
- 陈衍景. 初论浅成作用和热液矿床成因分类[J]. *地学前缘*, 2010, 17(2): 27-34.
- CHEN Yanjing. On Epizonogenism and Genetic Classification of Hydrothermal Deposits [J]. *Earth Science Frontiers*, 2010, 17(2): 27-34.
- 丁士应, 任富根, 李双保, 等. 豫西熊耳山地区金矿构造控矿系统及其找矿意义[J]. *前寒武纪研究进展*, 1999, 22(02): 26-31.
- DING Shiyang, REN Fugen, LI Shuangbao, et al. Ore-controlled Structural Systems and Its Ore-prospecting Significances of Gold Deposits in Xionger Mountain Area, Western Henan Province [J]. *Progress in Precambrian Research*, 1999, 22(02): 26-31.
- 范建国, 倪培, 田京辉. 成矿流体的流体包裹体同位素示踪探讨[J]. *地质找矿论丛*, 2000, 15(03): 275-281.
- FAN Jianguo, NI Pei, TIAN Jinghui. Fluid Inclusion Isotopes as Tracers of Ore Fluids [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2000, 15(03): 275-281.
- 郭爱锁, 庞绪成, 张同中, 等. EH4 方法在隐爆角砾岩型盲矿预测中的应用—以河南嵩县下嵩坪金矿为例[J]. *地质找矿论丛*, 2014, 29(1): 114-119.
- GUO Aisuo, PANG Xucheng, ZHANG Tongzhong, et al. The Application of EH4 Sounding to Forecast of the Blind-ore Related to Cryptoexplosive Breccia—Xiahaoping Gold Deposit in Songxian, Henan Province for Example [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2014, 29(1): 114-119.
- 郭保健, 李永峰, 王志光, 等. 熊耳山 Au-Ag-Pb-Mo 矿集区成矿模式与找矿方向[J]. *地质与勘探*, 2005, 41(05): 43-47.
- GUO Baojian, LI Yongfeng, WANG Zhiguang, et al. Type Metallogenetic Regularities, Mineralization Model and Prospecting Proposal in the Xiongershan District [J]. *Geology and Exploration*, 2005, 41(05): 43-47.
- 胡海珠, 李毅. 豫西熊耳山地区燕山期岩浆作用对金银成矿的制约因素[J]. *矿产与地质*, 2006, 20(Z1): 427-429.
- HU Haizhu, LI Yi. Magmatic activities and its constraints on gold-silver mineralization in Xiong'ershan area, western Henan province [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2006, 20(Z1): 427-429.
- 李连涛, 徐公权, 王爱枝. 河南熊耳山地区金矿的控矿因素分析[J]. *矿产与地质*, 2009, 23(02): 152-157.
- LI Liaotao, XU Gongquan, WANG Aizhi. Analysis On the ore-controlling factors of the Xiong'ershan gold deposit, Henan [J]. *Mineral Resources and Geology*, 2009, 23(02): 152-157.
- 李晶, 陈衍景, 李强之, 等. 甘肃阳山金矿流体包裹体地球化学和矿床成因类型[J]. *岩石学报*, 2007, 23(09): 2144-2154.
- LI Jing, CHEN Yanjing, LI Qiangzhi, et al. Fluid Inclusion Geochemistry and Genetic Type of the Yangshan Gold Deposit, Gansu China [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2007, 23(09): 2144-2154.
- 刘斌, 沈崑. 流体包裹体的氧逸度计算公式及其应用[J]. *矿物学报*, 1995, 15(03): 291-302.
- LIU Bin, SHEN Kun. Formulae for Calculating Oxygen Fugacities of Fluid Inclusions and Their Applications [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1995, 15(03): 291-302.
- 刘红樱, 胡受奚, 周顺之. 豫西马超营断裂带的控岩控矿作用研究[J]. *矿床地质*, 1998, 17(01): 71-82.
- LIU Hongying, HU Shouxi, ZHOU Shunzhi. A Study of Rock-controlling and Ore-controlling Role of the Macaoying Fault in Western Henan [J]. *Mineral Deposits*, 1998, 17(01): 71-82.
- 卢焕章. 流体不混溶性和流体包裹体[J]. *岩石学报*, 2011, 27(05): 1253-1261.
- LU Huangzhang. Fluids immiscibility and fluid inclusions [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 2011, 27(05): 1253-1261.
- 卢欣祥, 尉向东, 于在平, 等. 小秦岭-熊耳山地区金矿的成矿流体特征[J]. *矿床地质*, 2003, 22(4): 377-385.
- LU Xinxiang, WEI Xiangdong, YU Zaiping, et al. Characteristics of Ore-forming Fluids in Gold Deposits of Xiaoqinling-Xiong'ershan Area [J]. *Mineral Deposits*, 2003, 22(4): 377-385.
- 梅秀杰, 耿怡智, 庞绪成. 嵩县南部古火山机构控矿作用及找矿方向[J]. *河南理工大学学报(自然科学版)*, 2008, 27(04): 410-413.
- MEI Xiujie, GENG Yizhi, PANG Xucheng. The Role of Ancient Volcanic Crater of Ore-controlling Structure and Exploration Direction in South of Song County [J]. *Journal of Henan Polytechnic University (Natural Science)*, 2008, 27(04): 410-413.
- 梅桂友, 李春芳. 中性水体 pH 值与温度关系的分段回归计算法[J]. *重庆环境科学*, 1999, 21(2): 57-58.
- MEI Guiyou, LI Chunfang. Relationship between water neutral pH value and temperature of subsection regression method [J]. *Chongqing Environmental Science*, 1999,

- 21(2): 57-58.
- 梅秀杰,张参辉,杨显道,等. 豫西次级拆离断层对金矿成矿的控制作用——以河南槐树坪金矿为例[J]. 黄金科学技术, 2014, 22(02): 7-12.
- MEI Xiujie, ZHANG Canhui, YANG Xiandao, et al. The Controlling of Secondary Detachment Fault for Gold Mineralization in Western Henan Province: Taking Huaishuping Gold Mine as an Example [J]. Gold Science and Technology, 2014, 22(02): 7-12.
- 孟宪锋. 嵩县南部金成矿条件分析及前景评价[D]. 中国地质大学(北京), 2007.
- MENG Xianfeng. Ore-forming Geological Conditions Analysis and its Appraisalment of Gold Deposits in Southern Songxian [D]. China University of Geosciences (Beijing), 2007.
- 倪培, 范宏瑞, 丁俊英. 流体包裹体研究进展[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2014, 24(10): 1-5.
- NI Pei, FAN Hongrui, DING Junying. Progress in Fluid Inclusions [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2014, 24(10): 1-5.
- 庞绪成, 辛志刚, 侯广顺, 等. 河南嵩县东湾金矿田地质特征及找矿远景[J]. 地质与勘探, 2011, 47(5): 765-771.
- PANG Xucheng, XIN Zhigang, HOU Guangshun, et al. Geological Characteristics of the Dongwan Gold Ore Field in Songxian County, Henan Province and its Ore-Search Prospect[J]. Geology and Exploration, 2011, 47(5): 765-771.
- 庞绪成, 王路, 侯广顺, 等. 河南下嵩坪金矿 Pb 同位素特征及 Rb - Sr 等时线年龄的地质意义[J]. 矿物岩石, 2011, 31(4): 82-86.
- PANG Xucheng, WANG Lu, HOU Guangshun, et al. Geological Significance of PB Isotope Characteristics and Rb - Sr Dating of Xiahaoping Gold Deposit, Henan [J]. Mineral Petrol, 2011, 31(4): 82-86.
- 邱庆伦, 燕长海, 陈瑞保, 等. 小秦岭—熊耳山地区燕山期大规模成矿的地球动力学背景[J]. 地质找矿论丛, 2008, 23(04): 281-286.
- QIU Qinglun, YAN Changhai, CHEN Ruibao, et al. The Geodynamic Settings of Yanshanian Large-scale Metallogenic Pulses in Xiaoqinling-Xiongershan Area [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2008, 23(04): 281-286.
- 孙贺, 肖益林. 流体包裹体研究: 进展、地质应用及展望[J]. 地球科学进展, 2009, 24(10): 1105-1121.
- SUN He, XIAO Yilin. Fluid Inclusions: Latest Development, Geological Applications and Prospect [J]. Advances in Earth Science, 2009, 24(10): 1105-1121.
- 王炯辉, 陈良, 苏蔷薇, 等. 河南省嵩县槐树坪金矿床地质、同位素地球化学特征与成矿作用[J]. 矿床地质, 2016, 35(03): 524-538.
- WANG JiongHui, CHEN Liang, SU QiangWei, et al. Geology isotopic geochemistry and metallogenesis of Huaishuping gold deposit in Songxian County, Henan Province [J]. Mineral Deposits, 2016, 35(3): 524-538.
- 吴发富, 龚庆杰, 石建喜, 等. 熊耳山矿集区金矿控矿地质要素分析[J]. 地质与勘探, 2012, 48(5): 865-875.
- WU Fafu, GONG Qingjie, SHI Jianxi, et al. Ore-controlling Factors of the Gold Deposits in the Xiongershan Gold Region, Western Henan Province [J]. Geology and Exploration, 2012, 48(5): 865-875.
- 徐红伟, 杨九鼎, 王国库. 河南省嵩县槐树坪金矿成矿地质特征及成因分析[J]. 河南理工大学学报(自然科学版). 2009, 28(6): 719-726.
- XU Hongwei, YANG Jiuding, WANG Guoku. Metallogenic Feature and Origin Analysis of Huaishuping Gold Deposit of Song County in Henan [J]. Journal of Henan Polytecnic University (Natural Science), 2009, 28(6): 719-726.
- 燕建设. 马超营断裂带流体系统地球化学特征[J]. 物探与化探. 2005, 29(6): 487-492.
- YAN Jianshe. Fluid Geochemical Characteristics of Machaoying Faulted Belt [J]. Ceophysical & Geochemical Exploration, 2005, 29(6): 487-492.
- 杨东潮, 庞绪成, 宗静, 等. 豫西嵩县南部鸡蛋坪组岩石地球化学特征及其成因意义[J]. 河南理工大学学报: 自然科学版, 2012, 31(6): 679-686.
- YANG Dongchao, PANG Xucheng, ZONG Jing, et al. Geochemistry characteristics and cause of formation of Jidanping Fm rocks, southern Song county of southern Henan [J]. Journal of Henan Polytecnic University (Natural Science), 2012, 31(6): 679-686.
- 张德会, 刘伟. 流体包裹体成分与金矿床成矿流体来源——以河南西峡石板沟金矿床为例[J]. 地质科技情报, 1998, 17(S1): 68-72.
- ZHANG Dehui, LIU Wei. Fluid Inclusion Compositions of Au Deposits and Their Ore Genesis Significance: The Discussion on the Origin of Ore Forming Fluid of Shibangou Gold Deposit, Xixia, Henan Province [J]. Geological Science and Technology Information, 1998, 17(S1): 68-72.