编号:0258-7106(2012)01-0083-11

山西省义兴寨金矿流体包裹体特征及其地质意义。

路英川¹² 葛良胜² 申 维¹ 王治华² 郭晓东² 王 梁¹² 周传芳¹³

(1 中国地质大学地球科学与资源学院,北京 100083;2 中国人民武装警察部队黄金地质研究所,河北 廊坊 065000; 3 中国人民武装警察部队黄金部队第三支队,黑龙江 哈尔滨 150086)

摘 要 山西省繁峙县义兴寨金矿为一大型石英脉型矿床。对义兴寨矿区金矿石中的流体包裹体进行了岩相 学和显微测温研究 结果表明:义兴寨金矿各成矿阶段金矿石中的流体包裹体主要为气液两相的 H₂O 包裹体,其次 为纯气相 H₂O 包裹体和含 CO₂ 包裹体。激光拉曼探针分析表明,第 I 阶段流体包裹体除 SO₂ 特征峰外,还出现了 CO₂ 特征峰和 C₆H₆ 特征峰,第 II 阶段石英中流体包裹体的气相成分伴有一定量的 SO₂。第 I 阶段包裹体的完全均 一温度(均一至液相)为 149~384℃,第 II 阶段包裹体的完全均一温度(均一至液相或气相)为 151~373℃,富气相包 裹体多数在达到均一前发生爆裂,第 III 阶段包裹体的完全均一温度(均一至液相)为 246~325℃,第 IV 阶段包裹体的 完全均一温度(均一至液相)为 223~269℃。成矿流体为中温、低盐度的浆控热液,主成矿期发生流体沸腾并在第 II 阶段有不同来源流体混入,后期有大气降水的加入。早期成矿阶段的流体具有深部地壳甚至地幔的特征。

关键词 地球化学 流体包裹体 ;成矿流体 ;义兴寨 ;山西 中图分类号 : P618.51 文献标志码 ;A

Characteristics of fluid inclusions of Yixingzhai gold deposit in Shanxi Province and their geological significance

LU YingChuan^{1,2}, GE LiangSheng², SHENG Wei¹, WANG ZhiHua², GUO XiaoDong², WANG Liang^{1,2} and ZHOU ChuanFang^{1,3}

(1 China University of Geosciences, Beijing 100083; 2 Gold Geological Institute of CAPF, Langfang 065000, Hebei, China; China; 3 No. 3 Gold Geological Party of CAPF, Harbin 150086, Heilongjiang, China)

Abstract

The Yixingzhai gold deposit is a large-size quartz-vein type ore deposit. The ore microscopy and measured temperature data of fluid inclusions reveal that inclusions at various ore-forming stages of the Yixingzhai gold deposits are mainly gas-liquid two-phase (H₂O or H₂O-CO₂) inclusions and subordinately pure volatile inclusions. Raman analysis of the fluid inclusions indicates that, in the gaseous phase, SO₂, CO₂ and C₆H₆ are existent at ore-forming stage I, and SO₂ is existent at stage II in addition to water vapor. The homogenization temperatures of ore-forming stage I are 149~384°C (homogenization to liquid), and those of stage II are 151~373°C (homogenization to liquid or gas). Volatile-rich fluid inclusions are mostly decrepitated before homogenization. The homogenization to liquid). The ore-forming fluids are of the epithermal-mesothermal and low salinity hypothermal system. The ore-forming fluids boiled very impetuously at the main stage, the meteoric water participated the activity during the late stage, and the ore-forming fluids were mixed with other fluids from

^{*} 本文得到全国危机矿山接替资源勘查项目(20089925)和国家自然科学基金项目(批准号 41172302)的资助

第一作者简介 路英川,男,1986年生,硕士研究生,助理工程师,研究方向为成矿规律与矿产预测。Email:Luyingchuan1986@163.com 收稿日期 2011-03-14;改回日期 2011-10-29。张绮玲编辑。

different sources at stage II. The reducibility of the early ore-forming stage fluid came from continental deep crust or the mantle.

Key words: geochemistry, fluid inclusion, ore-forming fluid, Yixingzhai, Shanxi Province

山西省五台山—恒山地区是中国重要的金矿床 密集区(刘清泉 2011),义兴寨金矿位于晋东北恒山 山脉中段南侧,是目前山西省规模最大的金矿山。 前人对义兴寨金矿床的地质地球化学(李双保等, 1997;叶荣等,1999),地球化学动力学(叶荣等, 1997;2002),成矿物质来源(景淑慧,1986)以及矿物 特征(姜绍飞等,1995;李成禄等,2009a;李成禄, 2009b) 等进行过深入的研究,但是对矿石中流体包 裹体的探讨尚少(杨红英等,1995;叶荣等,1999),尤 其缺少对不同阶段流体特征的研究。由于流体包裹 体特征是厘定矿床成因类型的重要标志(陈衍景等, 2007),被喻为成矿溶液的原始样品,可以作为译解 成矿作用的密码(何知礼,1982),其数据被用来确定 流体系统演化的特征(Vapnik et al., 2002),对于矿 床成因的研究具有重要意义。本文通过流体包裹体 岩相学鉴定、冷热台测温以及激光拉曼光谱测定等方 法 对义兴寨金矿不同成矿阶段矿石中的流体包裹体 进行研究 这对揭示流体演化过程具有重要意义。

1 区域及矿床地质

义兴寨金矿位于山西省繁峙县砂河镇,大地构 造位置属华北地台北中部,系山西陆台五台隆起西 北侧与燕山沉降带西南缘嵌接部位。在约 30 亿年 的地质发展过程中,该区经历了复杂的构造、沉积、 岩浆、变质和成矿等地质作用。其早期经历了结晶 基底形成和多期区域变质作用,中生代转入复杂的 陆内造山作用过程,尤其在燕山运动中剧烈活化,形 成了斜切晋东北的区域性构造-岩浆-多金属成矿带, 成为金、银、铅、锌等矿产的重要产区(彭大明,1995; 周绍芝,1999)。

矿区出露的地层主要为寒武系下统毛庄-馒头 组泥质白云岩、长城系高于庄组白云质碳酸盐岩和 五台超群金刚库组黑云斜长片麻岩。区域内岩浆岩 较为发育,从前五台期、五台期、吕梁期至燕山期和 喜马拉雅期均有岩浆活动(杨红英等,1995)。区域 内构造表现为多期、多次褶皱变形和断裂活动,前五 台—吕梁期以褶皱构造为主导形式,经多期次活动, 形成义兴寨矿田 NEE 向复背斜基底构造。断裂构 造主要为 NW 向、NNW 向 2 组,是区内重要的控岩 控矿构造,对区域及矿区岩浆活动和金多金属矿化 具有直接控制作用。NW 向断裂具张剪性正断层性 质,其中被各种矿脉充填。近矿围岩为恒山杂岩中 的变闪长岩—黑云斜长片麻岩和长英质片麻岩。

矿区内岩浆岩主要为燕山期中酸性岩。与矿化 有关的有酸性次火山岩和以闪长岩为主体的中酸性 侵入杂岩——孙庄岩体。前者侵入顺序为:长石石 英斑岩→石英斑岩→长石斑岩,早期伴随爆破相角 砾岩;后者为区内的主要岩浆岩,展布于 NW 向区域 控矿断裂带上,岩性以石英二长闪长岩为主体,岩性 变化大且规律性不明显,在岩体内外接触带分布有 多种 Au、Mo、Pb-Zn、Fe-Au 矿(化)点。义兴寨金矿 床产于孙庄岩体的 NW 部 岩体的 SE 部为辛庄金矿 床 岩体和矿体均受义兴寨断裂控制。

区内断裂构造以义兴寨断裂和龙山断裂为代 表 走向一般 305~335°,倾向南西,倾角 65~85°,断 裂带宽一般数米至十余米 ,由大小不等、杂乱分布的 构造角砾岩组成。两条断裂曾在燕山期发生走滑运 动,中间派生出一组近 SN 向的张性裂隙,被后期含 矿热液充填形成义兴寨和辛庄金矿的金矿体(图1)。 本区金矿体的产出类型有多金属硫化物热液脉型 (包括石英脉型和石英脉-构造蚀变岩复合型)及隐 爆角砾岩型 其中石英脉型为主要类型。矿区详细 编录的含金石英脉型矿体有 15 条,其中 5、6、7 号脉 为该矿区主要矿脉。矿脉大多呈 NNW 向近等距平 行排列,由倾角为80~90°的压-张扭性容矿断裂构 成。矿体以单脉型为主,有简单复脉,网脉较少,规 模大小不一,在垂向上多呈雁行状分支复合产出。 金矿体由含黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等硫化 物的石英脉构成。矿脉两侧围岩发生绢云母化、绿 泥石化等蚀变。矿石类型主要有贫金贫硫化物石英 型矿石、贫金黄铁矿方解石型矿石、富金银黄铁矿-多金属混合型矿石、富金黄铁矿、黄铜矿型矿石和贫 金富银方铅矿闪锌矿型矿石。金矿矿石的构造类型 有梳状、晶簇状、浸染状、网脉状、条带状、角砾状等; 结构类型主要有他形-半自形-自形粒状结构、压碎结 构、交代残余结构和溶蚀结构等 ,也可见文象结构、 假象结构以及固溶体分离结构等。



图 1 义兴寨金矿区地质略图(据叶荣等,1997;1999)及华北克拉通的三分(东部陆块、西部陆块和中央带) 以及新生代裂谷系分布图(据 Zhao et al. 2001 修编)

1—太古代地体;2—华北裂谷系;3—山西-陕西裂谷系;4—银川河套裂谷系;5—苏鲁超高压变质带;6—中生代侵入带-秦岭大别造山带; 7—第四系冲、洪积层;8—第四系黄土、亚砂土;9—寒武系下统毛庄-馒头组泥质白云岩;10—长城系高于庄组白云质碳酸盐岩;11—五台 超群金刚库组黑云斜长片麻岩;12—太古界斜长片麻岩夹变粒岩;13—燕山期闪长玢岩脉;14—燕山期似斑状花岗岩;15—燕山期孙庄闪 长杂岩体;16—燕山期长石石英斑岩;17—五台期辉绿岩;18—变基性岩;19—隐爆角砾岩筒;20—金矿点;21—矽卡岩化隐爆角砾岩; 22—实测和推测断层;23—含金石英脉及编号;24—磁铁石英岩;25—地层界线;DTGL—大兴安岭-太行山重力梯度带;TLFZ—郯庐断裂带 Fig. 1 Generalized geological map of the Yixingzhai gold orefield(after Ye et al., 1997;1999) and three subdivisions

of the North China craton and the distribution of Cenozoic rift systems (after Zhao et al., 2001)

1—Archean terrane; 2—North China rift system; 3—Shanxi-Shaanxi rift system; 4—Yinchuan and Hetao plain rift system; 5—Sulu ultrahighpressure (UHP) metamorphic terrane (The Central Asian orogenic belt); 6—Mesozoic invasion zone (Qinling Mountains Dabie orogenic belt); 7—Quaternary alluvium and proluvium; 8—Quaternary loess and subsand; 9—Lower Cambrian Maozhuang-Mantou Formation muddy dolomite; 10—Gaoyuzhuang Formation carbonate rocks of Changcheng System; 11—Jingangku Formation biotite plagioclase gneiss of Wutai Supergroup;

12—Archean plagiogneiss intercalated with leptynite ; 13—Yanshanian dioritic porphyrite dike ; 14—Yanshanian porphyitroid granite ;

15—Yanshanian Sunzhuang dioritic complex ; 16—Yanshanian feldspar-quartz porphyry ; 17—Diabase of Wutai period ; 18—Metabasite ; 19—Cryptoexplosion breccia pipe ; 20—Gold ore spot ; 21—Skarnized cryptoexplosion breccia ; 22—Fault and inferred fault ; 23—Gold-bearing quartz vein and its serial number ; 24—Magnetite quartz rock ; 25—Stratigraphic boundary ; DTGL—Da Hinggan Ling and Taihang Shan gravity lineament ; TLFZ—Tan-Lu fault zone 从义兴寨矿区矿脉的穿切关系及矿化特点,可 以确立金多金属矿化的多阶段性,但早期矿化的多 阶段性,由于后期矿化叠加或破坏已难以确定。宏 观上,近南北向矿脉多切割了北西向矿脉(局部亦见 相反者),可能表明北西向矿脉稍早形成。

根据野外脉体穿插关系等地质特征,以及对矿 石光片的鉴定和分析,结合叶荣等(1997)的研究成 果 將成矿划分为 4 个成矿阶段 :第 ↑ 阶段 ,为含浸 染状黄铁矿石英脉阶段,其中黄铁矿含量低,并呈零 星浸染状分布 矿物组合为黄铁矿、黄铜矿和辉铜矿 等(图 2a、2e、2f);第 || 阶段,为块状黄铁矿石英脉阶 段 石英-黄铁矿-银金矿、自然金组合,以大量出现团 块状粗粒黄铁矿为标志,形成黄铁矿的团块状集合 体,并胶结了破碎的早期石英脉碎块,矿物共生组合 为黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂等(图 2b、 2g、2h);第Ⅲ阶段,为多金属硫化物石英脉阶段,又 可根据矿石结构构造与穿插关系证据分为Ⅲ1、Ⅲ2 两个亚阶段: 11 是本区金矿化的主要阶段之一,石 英和方铅矿含量低是本阶段的主要标志,以形成中 细粒黄铁矿、黄铜矿集合体为标志 除石英、黄铜矿、 黄铁矿为主外,其次有辉铜矿、闪锌矿,矿物组合为 黄铁矿、黄铜矿、方铅矿、雌黄和自然金(图 2c、2i、2j、 2k) 其中自然金以包体金或单颗粒的形式产于黄铁 矿中;Ⅲ,阶段的矿物组合宏观上与Ⅲ,阶段相同、微 观有低成色银金矿、金银矿、辉银矿-螺状硫银矿、自 然银、闪锌矿、方解石、白云石等,但石英含量增加, 方铅矿常呈大颗粒团块状,或呈石英方铅矿脉,其内 常有早期黄铁矿团块的角砾或石英呈脉或网脉状穿 切于早期的黄铁矿团块中,该阶段矿物组合在矿区 多见于脉带上部。 第11阶段 ,为石英-碳酸盐脉阶 段 矿脉中常见晚期石英胶结早期石英晶体残块 矿 物共生组合主要为石英、方解石、黄铁矿、黄铜矿和 少量的铜蓝(图 2d、21)。

2 流体包裹体研究

2.1 样品采集及研究方法

样品为采自6号脉830中段(样品号YXC6-01) 的浸染状黄铁矿石英脉(图2a)5号脉的褐铁矿石 英脉(样品号YXC5-02)1号脉的块状黄铁矿石英 脉(样品号YXC1-04)图2b)7号脉的多金属硫化 物石英脉(样品号YXC7-01)图2c)3号隐脉(指脉 体名称)的多金属硫化物石英脉(样品号YXCm301)7号脉的方解石石英脉(样品号 YXC7-02)及0 号隐脉的方解石石英脉(样品号 YXCm0-02)图 2d)。共完成7件样品的测温(均一温度、冰点和爆 裂温度)工作。

显微测温工作在中国地质大学(北京)地球化学 流体包裹体实验室完成,所使用的仪器为 Linkam THMSG-600 冷热台(-196 - +600°)。测定前,首 先应用了人造纯 H₂O及 w(NaCl_{eq})为 25%的 H₂O-NaCl 包裹体(国际标样),对流体包裹体的参数进行 了系统校正。流体包裹体测试过程中,升温速率一 般为 0.2~5°C/min,误差为 \pm 0.1°C。

2.2 流体包裹体岩相学特征

本次研究以 I、II、III、III、III 阶段矿石石英内的流体包裹体为主要研究对象。首先,将上述阶段矿石 样品制成双面抛光的包裹体薄片,然后在光学显微 镜下观察,以确定不同成矿阶段,不同类型包裹体的 特点。流体包裹体岩相学观察显示:石英内的流体 包裹体(图3)较小,且形状多为不规则状。既有沿晶 带分布的或孤立散乱分布的原生包裹体,又有沿裂 隙分布的次生、假次生包裹体;在物相上,原生包裹 体主要为气-液两相包裹体、富气相包裹体和富液相 包裹体,其次为含 CO₂ 包裹体或 SO₂ 包裹体,未见到 含子晶包裹体。本文主要研究不同成矿阶段的原生 包裹体,其特征分述如下。

第1阶段 ,含浸染状黄铁矿石英脉中的包裹体

主要含有富液相的气、液两相包裹体(L+V) (含量约大于 98%)。单个包裹体主要为椭圆形、三 角形、长条状和不规则状,大小为 $3 \sim 12 \mu m$,少量为 15 μm 左右(图 3a、3b、3c、3d)。规则状约占流体包 裹体总数的 20%,不规则状约占流体包裹体总数的 80%。其气相分数(V/V+L)为 5% ~90%,主要集 中在 10% ~30%。

第Ⅲ阶段 块状黄铁矿石英脉中的包裹体

含有纯气相包裹体(V)(含量约少于 2%),富气 相(含量约少于 25%)和富液相的气液两相包裹体(L +V)(含量约为 70%)。单个包裹体主要为不规则 状,含有少量的长柱形、椭圆形和菱形包裹体,大小 为 5~15 μm,少量为 40 μm 左右(图 3e,3f、3g,3h)。 其气相分数为 5%~100% 集中在 20%~40%。

第Ⅲ阶段,多金属硫化物石英脉中的包裹体

主要为气液两相包裹体(L+V),包括富气相包 裹体(含量约少于5%)和富液相包裹(含量约为 95%)。单个包裹体主要为不规则状,椭圆形和菱形,



图 2 义兴寨金矿矿石手标本及显微照片

a~d为手标本照片: a. 含浸染状黄铁矿石英脉矿石(YXC6-01); b. 块状黄铁矿石英脉矿石(YXC1-4); c. 多金属硫化物石英脉矿石 (YXC7-01); d. 石英-碳酸盐脉矿石(YXCm0-02); e~l为光片显微照片: e.f. 金属矿物为黄铁矿(Py)、黄铜矿(Ccp)、辉铜矿(Cc)(YXC6-01); g.h. 主要为黄铁矿(Py)、黄铜矿(Ccp)、方铅矿(Gn)、闪锌矿(Sp)、毒砂(Apy)(YXC1-04); i. 包体金(YXC7-04); j. 单颗粒金(YXC7-04); k. 金属矿物为辉铜矿(Cc)、雌黄(Arp)、黄铜矿(Ccp)(YXC6-02); l. 金属矿物为黄铁矿(Py)、黄铜矿(Ccp)、铜蓝(Cv)(YXC20-2)

Fig. 2 Hand specimens and microphotographs of ore veins in the Yixingzhai gold deposit

a~d: Hand specimens: a. Grain-disseminated pyrite-quartz ore veins (YXC6-01); b. Massive pyrite-quartz ore veins (YXC1-4); c. Quartz-polymetallic-sulfide ore veins (YXC7-01); d. Quartz-carbonate ore veins (YXCm0-02); e~l: Microphotographs: e, f. Metallic minerals comprising pyrite (Py), chalcopyrite (Ccp) and chalcocite (Cc); g, h. comprising mainly pyrite (Py), chalcopyrite (Ccp), galenite (Gn), sphalerite (Sp) and arsenopyrite (Apy) (YXC1-04); i. inclusion gold; j. single-grained gold (YXC704); k. Metal minerals comprising chalcocite (Cc), orpiment (App), chalcopyrite (Ccp) (XYC6 02), h. Metal minerals comprising muit (Pr), chalcopyrite (Ccp) and chalcocite (Cc), orpiment

(Arp), chalcopyrite (Ccp)(YXC6-02); l. Metal minerals comprising pyrite (Py), chalcopyrite (Ccp) and covellite (Cv)(YXC20-2)

大小为 2~12 μm 少量为 25 μm 左右(图 3i、3k、3l)。 规则状约占流体包裹体总数的 25%,不规则状约占 流体包裹体总数的 75%(图 3j、3l)。其气相分数为 10%~80%,主要集中在 15%~35%。

第Ⅳ阶段 ,方解石石英脉中的包裹体

石英中包裹体主要为气液两相包裹体(L+V), 其中富气相包裹体含量约少于 2%,富液相包裹含量 约为 98%。单个包裹体主要为不规则状,少量为菱 形和椭圆形,大小为 4~12 μ m,少量为 3 μ m 或 20 μ m 左右(图 3m、3n、3o)。规则状和不规则均约占流 体包裹体总数的 50%。其气相分数为 2%~30%, 主要集中在 10%~20%。 方解石中包裹体很少,主要为富液相的气液两 相包裹体。单个包裹体主要为菱形,长条状和不规 则状,大小为4~8 μm,少量为3 μm 或10 μm 左右 (图 3p)。其气相分数为5%~30%,主要集中在5% ~10%。

2.3 流体包裹体显微测温、盐度和压力

均一温度

第 [阶段 ,含浸染状黄铁矿石英脉 2 个矿石样 品的包裹体(样品号 :YXC6-01 ,YXC5-02)完全均一 温度测试结果分别为 149~368℃、233~337℃ ;第 [] 阶段 块状黄铁矿石英脉样中流体包裹体(样品号 YXC1-4)有富液相和富气相两种 ,富液相包裹体均



图 3 义兴寨金矿石英中流体包裹体的显微照片

a. 气相 H₂O 包裹体 ; b. 富液相 H₂O 包裹体 ; c. d. 气液两相 H₂O 包裹体 ; e. 纯气相 CO₂ 包裹体 ; f 富气相 CO₂ 包裹体 ; g. 气液两相含 CO₂ 包裹体 ; h. 富液相含 C₆H₆ 包裹体 ; i~1. 气液两相 H₂O 包裹体 ; m. 液相和气液两相 H₂O 包裹体 ; n~p. 富液相 H₂O 包裹体

Fig. 3 Microphotographs of fluid inclusions in quartz from the Yixingzhai gold deposit
a. V-type H₂O fluid inclusions ; b. L-type H₂O fluid inclusions ; c. d. V-L H₂O fluid inclusions ; e. V-type CO₂ fluid inclusions ;
f. CO₂ rich V-type fluid inclusions ; g. V-L fluid inclusions with CO₂ ; h. L-type fluid inclusions with C₆H₆ ; i~l. V-L type H₂O fluid inclusions ; n~p. L-type H₂O fluid inclusions

一至液相 ,完全均一温度为 151~373℃ ,富气相包裹 体均一至气相(均一温度为102℃)或达到均一前爆 裂,爆裂温度为 68 ~ 387℃,主要集中在 304 ~ 313℃;第Ⅲ阶段,多金属石英脉矿石的2个样品(样 品号 YXC7-01, YXCm3-01) 中流体包裹体完全均一 温度分别为 246~325℃和 192~329℃ ;第 Ⅳ 阶段 ,2 件方解石石英脉矿石样品(样品号 YXC7-02, YX-Cm0-02) 中流体包裹体完全均一温度分别为 223~ 269℃和 95~329℃(表1)。从 [~]\阶段均一温度 直方图(图4)中可以看出:第1阶段均一温度主要集 中在 250~300℃之间 峰值在 300℃ 第Ⅱ阶段均一 温度也集中在 250~300℃,但是峰值向 250℃方向 偏移 ;第Ⅲ阶段均一温度主要集中在 250~300℃之 间,且分布较为均匀;第11阶段均一温度集中在150 ~250℃ 温度范围较宽且低。第 [~ Ⅲ 成矿阶段温 度较为集中,第Ⅳ阶段温度下降明显。第Ⅱ、Ⅲ阶段 为主成矿阶段 成矿温度集中在 250~300℃。

冰点温度与盐度

义兴寨金矿冰点温度直方图(图 5)和表 1 中显 示:第 Ⅰ阶段冰点温度主要集中在 - 5.5℃ ~ -11.8℃,但是多数为-6℃~-8℃;第Ⅱ阶段冰点 温度较高,-1.2℃~-4.7℃均有分布,但>-2℃ 者居多;第Ⅲ阶段的流体包裹体冰点温度集中分布◎ 于-6.5℃~-8.0℃之间;第Ⅳ阶段流体包裹体冰 点温度为-6.5℃~-10.1℃,主要分布于-8.0℃ ~-10.0℃ 较前三阶段有降低的趋势。

根据所测得的冰点温度数据,采用 Hall(1998) 及 Bischoff(1991)的盐度公式,求得盐度 u(NaCl_{eq}) 为 2.07% ~ 15.76%,第 Ⅰ阶段石英中流体包裹体 u(NaCl_{eq})为 8.55% ~ 15.76%,第 Ⅱ阶段盐度相对 于其他三个阶段较低,为 2.07% ~ 7.45%,第 Ⅲ、Ⅳ 阶段盐度相差无几,分别为 9.86% ~ 12.28% 和 9.86% ~ 14.04%(表 1)。图 6显示,第 Ⅱ阶段的盐 度较为分散,出现了中盐度与低盐度共存的现象。

密度与压力

据盐度及均一温度计算出各阶段的流体密度 (表1),从表1中可以看出各阶段的流体密度相差不 大,第1阶段2个样品的流体密度平均值分别为 0.82g/m³和0.84g/m³;第11阶段流体密度的平均 值为0.77g/m³和0.71g/m³,111、11阶段流体密均 有升高的趋势,其平均值分别为0.86g/m³和0.85 ~0.89g/m³。由此可见,义兴寨金矿的各阶段成矿 流体均为中低密度流体,且第11阶段有减小的趋势。 根据包裹体测温数据,利用 MacFlincor 流体包 裹体计算程序(Brown et al., 1995),获得

Table 1 Characteristics and parameters of fluid inclusions in the Yixingzhai gold deposits									
成矿 阶段	样号	大小 /µm	气相 分数/%		$- t_{\rm m}/^{\circ}{\rm C}$	w(NaCl _{eq})/%	<u>ρ/(g/m³)</u> 平均值	<i>P</i> /10 ⁶ Pa	备注
Ι	YXC6-01	3~12	5~30	149~368	-11.8~-5.7	8.81~15.76	0.72~0.98	35.00~188.97	部分与黄铁矿
				(18)			0.82		共生
	YXC5-02	3~16	10~30	233~337	7.8~-5.5	8.55~11.46	0.8~1.14	27.31~148.78	
				(16)			0.84		
II	YXC1-4	5~15	5~100	151~373	-4.7~-1.2	2.07~7.45	0.80~0.94	47.66~98.06	部分达到均 —
				(12)			0.77		温度前爆裂, 爆裂温度 68 ~387℃
	YXC4-01	5~16	5~100	211~384	-2.6~-1.2	2.07~4.05	0.59~0.87	51.12~98.00	部分达到均一
				(12)			0.71		温度前爆裂
III	YXC7-01	2~12	10~20	246~325	6.7~-8.0	9.98~11.46	0.79~1.18	43.26~111.02	
				(12)			0.86		
	YXCm3-01	2~12	15~80	192~329	8.9~-6.5	9.86~12.28 ·	0.79~0.96	12.11~116.66	部分均一到 气相
				(12)			0.86		
IV	YXC7-02	4~10	10~20	223~269	6.5~-8.8	9.86~12.62	0.87~0.93	22.63~49.88	
				(13)			0.89		
	YXCm0-02	2~12	2~30	95~329	-10.1~-7.2	10.73~ 14.04	0.81~0.98	13.98~115.04	部分达到均一 温度前爆裂
				(14)			0.85		

表 1 义兴寨金矿流体包裹体特征及参数

测试单位:中国地质大学(北京)地球化学流体包裹体实验室。



图 4 义兴寨金矿床石英脉中流体包裹体均一温度 直方图





图 5 义兴寨金矿床石英脉中流体包裹体冰点温度 直方图



Fig. 5 Freezing point temperature of fluid inclusions in quartz from the Yixingzhai gold deposit

图 6 义兴寨金矿床石英脉中流体包裹体盐度-均一 温度图

Fig. 6 Salinity versus homogenization temperature of fluid inclusions from the Yixingzhai gold deposit

27.31×10⁶~188.97×10⁶ Pa、47.66×10⁶~98.06 ×10⁶ Pa、12.11×10⁶~116.66×10⁶ Pa、13.98×10⁶ ~115.04×10⁶ Pa。 按静水压力梯度 10×10⁶ Pa/km 计算,它们对应的成矿深度分别为 2.7~18.9 km、 4.8~9.8 km、1.2~11.7 km 和 1.4~11.5 km。由此可见,主成矿阶段的成矿深度基本一致,因此,推测该矿床的成矿深度为 4.8~11.7 km。

2.4 流体包裹体的激光拉曼光谱测试结果

本次研究开展了包裹体的激光拉曼光谱分析工 作,对第Ⅰ、Ⅱ阶段中的石英包裹体个体分别测定了 拉曼光谱。单个包裹体的激光拉曼探针分析在中国 科学院地质与地球物理研究所流体包裹体实验室英 国 Renishaw 公司生产的 System-2 000 显微共焦激 光拉曼光谱仪上完成,激发激光波长 514.53 nm,激 光功率 20 mW,激光束斑最小直径 1 µm,光谱分辨 率 1~2 cm⁻¹。

包裹体激光拉曼探针测试表明,第 I 阶段和第 II 阶段气相成分主要为水,在拉曼图谱上第 I 阶段 的包裹体中除 SO₂ 特征峰(464 cm⁻¹)外,还出现了 CO₂ 特征峰(1 286 cm⁻¹和 1 388 cm⁻¹)和 C₆H₆ 特 征峰(3 074 cm⁻¹)图 7a、7b、7c),第 II 阶段除了寄 主矿物石英的特征峰外,还出现了 SO₂ 峰(1 147 cm⁻¹)图 7d),未见 C₆H₆ 和 CO₂ 特征峰;这显示了 成矿流体从早期以 H₂O、CO₂ 和 SO₂ 为主,到主成矿 阶段时有机成分 C₆H₆ 消失的特征。

3 讨 论

3.1 成矿流体特征及演化

义兴寨金矿流体包裹体的研究表明,成矿流体 属于中-高温、中低盐度和中低密度的热液。流体温 度在成矿早期到晚期逐渐降低,250~300℃代表了 主成矿阶段(Ⅲ、Ⅲ)的流体温度,李成禄等(2009a) 通过黄铁矿热电性的计算得出义兴寨金矿床的形成 温度为143.3~323.3℃,与流体包裹体均一温度吻 合较好。

从整个成矿过程来看,温度和盐度从早成矿阶段 段(I, w($NaCl_{eq}$)8.55%~15.76%)到主成矿阶段 (II, w($NaCl_{eq}$)2.07%~7.45%;III, w($NaCl_{eq}$) 9.86%~12.28%)波动性较大,指示主成矿阶段时 流体性质发生了较大波动,而从主成矿阶段后期 (III)到晚成矿阶段[IV, w($NaCl_{eq}$)9.86%~ 14.04%],流体盐度平稳过度,说明成矿流体晚期来 源的稳定性特征(图6)。结合密度变化特征可以推 测,流体沸腾作用可能与区内较为频繁的构造、岩浆 活动相关。

第Ⅲ阶段包裹体有富气相和富液相包裹体共



图 7 义兴寨金矿床石英脉中流体包裹体的拉曼图谱 (a)(b)(c). 第Ⅰ阶段气液两相包裹体的气相成分;(d). 第Ⅱ阶段富气相包裹体的气相成分

Fig. 7 Laser Raman spectra of fluid inclusions from the Yixingzhai gold deposit

Fig. / East Raman spectra of matchickons from the Fixingzian gold deposit

(a),(b),(c). Vapor phase composition of liquid-gas two phase inclusions at stage [];(d). Vapor phase composition of gas-rich inclusion at stage []

10 -10 变质水 -30 -50 δD/‰ -70 -90 -110 10 15 $\overline{20}$ -10-5 0 $\delta^{18}O/\%$

图 8 义兴寨金矿的 δD-δ¹⁸O 图解(李双保等,1997) ●--早中期氧同位素值,▲---晚期氧同位素值

Fig. 8 δD-δ¹⁸O diagram of the Yixingzhai gold deposit
 ●—Early to middle stage ; ▲—Late stage

存,富液相包裹体均一到液相,富气相包裹体均一到 气相或发生爆裂,压力降低和气相体积增大,同时伴 随流体中密度和低密度共存且相对于其他三个阶段 降低的特征,指示流体发生过沸腾作用(卢焕章, 2001),也正是沸腾作用导致了金的沉淀成矿(胡芳 芳等 2008),这与流体包裹体岩相学和盐度特征相 互印证。

但是与Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ阶段相比,Ⅱ阶段均一温度变 化范围较为宽泛(151~384℃),压力虽有一定的降 低,但是并不明显,尤其是盐度急剧下降〔(w(Na-Cl_{eq})2.07%~7.45%]部分包裹体在均一前发生爆 裂等特征,又表现出低盐度流体参与混合和包裹体 的不均匀捕获的特征(Shepherd et al.,1985)。正是 主成矿阶段的流体沸腾和外来低盐度流体的混合作 用共同导致了金的沉淀,但是,主成矿阶段低盐度流 体混合和不均匀捕获作用形成的义兴寨金矿这种特 有形式,还需要进一步研究加以证实。

3.2 成矿流体来源及矿床成因

义兴寨成矿流体属中高温、中低盐度、中低密度 流体,与早期岩浆水热液,后期有大气降水热液混入 的特征一致,与山东玲珑金矿(王可勇等,2008)焦 家金矿(张海泉,2005)三甲金矿(胡芳芳等,2008) 和金岭金矿(王力等,2010)较为相似,符合浆控浅成 中温热液型矿床成矿流体的特征。

一般认为,参与混合的中低盐度流体多为变质 热液、改造热液以及大气降水等,但是近几年研究发 现岩浆水(刘玄等,2011;周国发等,2008),地幔流体 (王力等,2010)同样可以形成低盐度金矿。同时,激 光拉曼测试结果指示,第 I阶段气相成分复杂,除以 水蒸气为主外,还伴随有 SO_2 、 CO_2 和 C_6H_6 的特征 峰 C_6H_6 的形成往往与还原环境(李永胜等,2011) 有关,丰富的 CO_2 的出现可能与深部地壳甚至地幔 流体的参与有关(孙晓明等,2010)。

除流体包裹体体特征外,其他证据也表明该矿 床属于浆控浅成中温热液型矿床:① 义兴寨矿区金 矿石氢、氧同位素证据: $\delta D_{H,O}$ 值为 – 65% ~ – 88%, 与幔源流体氢同位素(δD = -50‰ ~ -80‰, Taylor ,1980)基本吻合 ,³¹⁸O_{HO}值为 3.63‰~10.46‰ , 其在氢、氧同位素图解中落入岩浆水和变质水重叠 区和紧邻的左下角(图 8),而Ⅲ、Ⅳ含金石英脉中的 石英、方解石流体包裹体同位素中流体水⁸¹⁸O_{H,O}值 为 - 3.47% \sim - 1.87% , $\delta D_{H,O}$ 值 为 - 56%-74‰ 具岩浆水与大气降水混合的特征(李双保 等 1997 ;李成禄 2009b) ;② 杨红英等早在 1995 对 义兴寨金矿区的多种硫化物含金石英脉矿石和黄铁 矿含金石英脉矿石的流体包裹体进行了研究 增发 现过含子晶 NaCl 多相包裹体,包裹体类型特征发现 含石英脉的流体包裹体与次火山岩脉花岗斑岩中的 包裹体有类似现象 推测二者的热液是同源 ,并通过 岩相学特征和测温等多种手段得到样品中有沸腾包 裹体群的特征,且沸腾包裹体的沸腾机制是与热液 在火山通道或断裂处压力骤降有关 ③ 义兴寨金矿 矿石的微量元素、稀土元素与周围岩体的微量元素 和稀土元素分配特征有很好的一致性

前人对义兴寨金矿成矿年龄曾做过详细研究。 叶荣等(1999)测得 [] 成矿期石英的坪年龄为(131.4 ±3.1) Ma,代表了主成矿期的年龄,从而认定义兴 寨金矿形成于中生代。华北克拉通岩石圈在中生代 发生了大规模减薄事件(Fan et al.,1992;Menzies et al. ,1993; Meyer et al. ,1994; Harris et al. ,1994; Fan et al. ,2001;吴福元等,2003; zhai et al. ,2007; 翟明 国 2008;刘燊等,2010),在此期间,构造运动使得大 量的中酸性岩浆经过底侵作用进入到五台群等老变 质地层内,并伴随深部流体向上运移,导致大规模的 中酸性火山岩、次火山岩侵位事件及成矿作用发生, 形成了一批金、银、铅-锌、铁等矿床。义兴寨金矿正 是中温石英脉型金矿床中的一种。

4 结 论

(1)义兴寨金矿床可分为4个矿化阶段,即含浸染状黄铁矿石英脉阶段,块状黄铁矿石英脉阶段,成状黄铁矿石英脉阶段,成矿 金属硫化物石英脉阶段和方解石石英脉阶段,成矿 早、中期气相分数从5%至100%均有分布,特别是 第Ⅲ阶段气相分数明显增大(平均值为35.3%)。晚 期(第Ⅲ阶段)包裹体中气相分数明显降低(<2%)。</p>

(2)流体包裹体均一温度为 95~384℃,主成矿
(第Ⅱ、Ⅲ)阶段的温度为 250~300℃。各阶段流体
包裹体盐度在成矿的第Ⅰ阶段最高,第Ⅱ阶段明显
降低,第Ⅲ、Ⅳ阶段中等且相对稳定。

(3)第 I 阶段石英中流体包裹体盐度 w(Na-Cl_{eq})为 8.55% ~15.76% 第 II 阶段盐度相对其他三 个阶段较低,w(NaCl_{eq})为 2.07% ~7.45%,第 III、 IV 阶段盐度相差无几,w(NaCl_{eq})分别为 9.86% ~ 12.28%和 9.86% ~14.04%。根据压力计算该矿床 的成矿深度为 4.8~11.7 km,属于浆控浅成中温热 液型矿床。

(4)第Ⅰ阶段石英中流体包裹体除水蒸气之 外 还出现了 SO₂、CO₂、C₆H₆的特征峰 ,具有深部地 壳甚至地幔的还原环境特征。

志 谢 在野外调查和实验室测试期间得到了 义兴寨金矿曹荣秀副总工程师、张翔科长和中国地 质大学诸惠燕老师的大力支持,激光拉曼测试中得 到杜轶伦博士的热心帮助,在论文撰写过程中得到 了两位匿名审稿老师和编辑老师的悉心指导,在此 表示衷心感谢。

[●] 武警黄金地质研究所. 2010. 晋东北-内蒙古中部地区火山岩型金多金属矿床成矿规律总结研究中期成果总结(义兴寨金矿及其外围 专题). 内部资料.

93

参考文献/References

- 陈衍景,倪 培,范宏瑞,Piralno 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.
- 何知礼. 1982. 包体矿物学[M]. 北京:地质出版社. 1-304.专题.
- 胡芳芳 ,范宏瑞 ,于 虎 ,刘振豪 ,宋林夫 ,金成伟 2008. 胶东三甲金 矿床流体包裹体特征 J] 岩石学报 24(9):2037-2044.
- 姜绍飞 杜振国,刘之洋. 1995. 义兴寨金矿黄铁矿的标型特征及成因 意义[J]. 矿产与地质 (X 3) 203-207.
- 景淑慧. 1986. 山西省繁峙县义兴寨金矿成矿条件及成矿来源探讨 [J]. 中国地质科学院沈阳地质矿产研究所所刊,13:126-134.
- 李成禄,李胜荣,罗军燕,宋继叶,张聚全. 2009a. 山西繁峙义兴寨金 矿黄铁矿热电系数与导型特征及其地质意义[J]. 现代地质,23 (6):1056-1063.
- 李成禄. 2009b. 山西省繁峙县义兴寨石英脉型金矿成因矿物学研究 与深部预测[D]. 北京:中国地质大学硕士学位论文. 59-65.
- 李双保 ,李俊建. 1997. 山西恒山义兴寨脉金矿田成矿地球化学特征 [J]. 前寒武纪研究进展, 20(2):1-21.
- 李永胜 赵财胜, 吕志成, 严光生, 甄世民. 2011. 西藏甲玛铜多金属矿 床流体包裹体特征及地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版) *A*1(1):123-136.
- 刘清泉. 2011. 山西辛庄金矿地质特征、矿床成因及找矿预测研究 [D]. 中南大学硕士学位论文. 1-97.
- 刘 玄 ,范宏瑞 ,胡芳芳 ,郑小礼 ,蓝庭广 ,杨奎峰. 2011. 胶东大庄子[《] 金矿成矿流体及稳定同位素研究 J]. 矿床地质 ,30(4) 575-689.
- 刘 燊 胡瑞忠 冯光英 杨毓红 冯彩霞 齐有强 王 涛. 2010. 华北 克拉通中生代以来基性岩墙群的分布及研究意义[J]. 地质通报 29(2/3) 259-267.
- 卢焕章. 2001. 流体不混溶性和流体包裹体[J]. 岩石学报,27(5): 1253-1261.
- 彭大明. 1995. 晋东北地区金矿类型及找矿方向[j]. 贵金属地质 A (4)263-268.
- 孙晓明,韦慧晓,翟 伟,贵 勇,梁业恒,莫儒伟,韩墨香,张相国. 2010. 藏南邦布大型造山型金矿成矿流体地球化学和成矿机制 [J]. 岩石学报,26(6):1672-1684.
- 汤艳杰 张宏福 英基丰 张 瑾、2006. 太行山地区中、新生代玄武质 岩浆的源区特征与时空演化[J]. 岩石学报 22(6):1657-1664.
- 王可勇 涨春燕 樊岳铭 涨晓东. 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.
- 王 力 孙丰月,王佳良. 2010. 山东金岭金矿床成矿流体地球化学特 征[J]. 岩石学报 26(12) 3735-3744.
- 吴福元 /葛文春 ,孙德有 ,郭春丽. 2003. 中国东部岩石圈研究中的几 个问题[J]. 地学前缘 ,10 51-60.
- 杨红英,王建国,周军.1995.山西义兴寨金矿流体包裹体的特征及 意义[J].贵金属地质 *A*(3):177-183.
- 叶 荣 赵伦山 沈镛立, 王振海, 诸惠燕. 1997. 义兴寨金矿成矿作用 地质地球化学动力学研究[]]. 现代地质, 11(1) 58-65.
- 叶 荣 赵伦山 沈镛立. 1999. 山西义兴寨金矿床地球化学研究 J]. 现代地质,13(4):415-418.
- 叶 荣 涂光炽,赵伦山,沈镛立,罗 丽. 2002. 山西义兴寨金矿床金 矿物颗粒的产出及其成矿动力学意义[J] 矿床地质,21(3)278-

303.

- 翟明国. 2008. 华北克拉通中生代破坏前的岩石圈地慢与下地壳 J]. 岩石学报 24(10) 2185-2204.
- 张海泉. 2005. 山东省胶东地区焦家式金矿床中含金石英大脉流体包 裹体的特征[J]. 地质通报 24(5)456-461.
- 周国发,吕古贤,邓 军,申玉科,郭 涛.2008.山东三山岛金矿床流 体包裹体特征及其地质意义[J].现代地质,22(1):24-33.
- 周绍芝. 1999. 晋东北地区银(金)矿成矿特征及远景浅机 J] 地质 与勘探 35(3) 5-8.
- Bischoff J L. 1991. Desities of liquids and vapors in boiling NaCl-H₂O solution : A P V T χ summary of from 300°C to 500°C[J]. Amer. J. Sci. , 291 309-338.
- Brown P E and Hagemann S G. 1995. MacFlincor and its application to fluids in Archean lode-gold deposits J J. Geochimica et Cosmochimica Acta , 59 : 3943-3952.
- Fan W M and Menzies M A. 1992. Destruction of aged lower lithosphere and asthenosphere mantle beneath eastern China J J. Geotectoniea et Metallogenia , 16 : 171-179
- Fan W M, Guo F, Wang Y J, Lin K and Zhang M. 2001. Post-orogenic bimodal voleanism along the Sulu orogenic belt in eastern China J J. Physics Chemisty Earth (A), 26:733-746.
- Hall D L. 1998. Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solution [J] Econ. Geol. , 83 :197-202.
- Harris J W , Duncan D J and Zhang F. 1994. The physical characteristics and syngenetic inclusion goehemisty of diamonds from Pipe 50 , Liaoning Province , People 's Republic of China A]. In : Meyer H O A and Lonardos O H , eds. Proc. 5th Int. Kimb Conf. 1 Diamonds : Characterizaton , Genesis and Exploratior C]. 106-115.
- Menzies M A, Fan W M and Zhang M. 1993. Palaeozoic and Cenozoic lithoprobes and the loss of >120 km of Archean lithosphere, Sino-Korean Craton, Ching A]. In : Prichard H M, et al. eds. Magmatic processes and plate tectonics [C]. London : Geological Society Special Publication. 76 :711-811.
- Meyer H O A , Zhang A and Milledge H J. 1994. Diamonds and inclusions in diamonds from Chinese kimberlites [A]. In : Meyer H O A and Leonardos O H , eds. Proc. 5th Int. Kimb Conf. 1. Diamonds : Characterization , Genesis and Exploration [C]. 98-105.
- Shepherd T J , RaKin A H and Alderton D H M. 1985. A practical guide to fluid inclusion studies [M]. Glasgow & London : Blackie & Son Limited. 1-154.
- Taylor H P. 1980. The effects of assimilation of country rocks by magma on ¹⁸O/¹⁶O and ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr systematics in igneous rocks J J. Earth Planet Sci. Lett. , 47:243-254.
- Vapnik Y and Moroz I. 2002. Compositions and formation conditions of fluid inclusions in emerald from the Maria deposid Mozambique J J . Mineralogical Magazine , 66(1):201-213.
- Zhai M G , Kusky M , Santosh M and Xiao W J. 2007. Tectonic evolution of China and adjacent crustal fragments[C]. Condwana Research , 12 :1-3.
- Zhao G C , Wilde S A , Cawood P A and Sun M. 2001. Archean blocks and their boundaries in the North China Craton : Lithological , geochemical , structural and P-T path constraints and tectonic evolution [J]. Precambrian Research , 107 45-73.