

# 江西金山金矿床成矿流体地球化学 及矿床成因讨论

刘志远<sup>1,2</sup>, 金成洙<sup>1</sup>, 王荣湖<sup>1,3</sup>, 梁俊红<sup>1</sup>

(1. 东北大学 资源与土木工程学院, 沈阳 110004; 2. 辽宁有色丹东地质勘查院, 辽宁 丹东 118008;  
3. 辽宁黄金公司, 沈阳 110006)

**摘要:** 对金山韧性剪切带型金矿床石英及方解石中流体包裹体的研究表明:成矿流体具有中低温、低盐度和低密度的特征;富含  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_2$  等;主要来源有变质热流体、富含有机质的大气降水形成的热流体和深源流体;流体的性质在时间和空间上都有一定的变化,矿床的形成主要是两期流体成矿作用的结果,是热液与构造的耦合;不同种类流体的混合、单一流体不混溶分离作用和盐水体系中有机质的参与是矿床形成的关键因素。

**关键词:** 流体包裹体;成矿流体;深源流体;有机质

**中图分类号:** P611;P618.51 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2005)02-0093-07

金山金矿位于赣东北德兴地区 Cu, Au, Ag, Pb, Zn 多金属矿集区内,处于有利的区域成矿背景中。北侧毗邻的德兴斑岩铜矿大规模的 Cu, Mo, Au 矿化与燕山早期第二阶段花岗闪长斑岩的侵入活动有关,西侧银山 Ag, Au, Pb, Zn 多金属矿床的形成与燕山早期晚阶段火山-次火山热液活动关系密切<sup>[1]</sup>。不少学者对其形成提出了岩浆热液、变质热液、大气降水热液等成因观点,但主要是以少量氢氧同位素数据为依据进行判断,对成矿作用中流体的生成、迁移及矿质沉淀过程缺少进一步研究<sup>[2]</sup>。本文通过对流体包裹体特征及稳定同位素地球化学研究,探讨了成矿流体的来源及其成矿作用。

## 1 矿床地质特征

金山金矿床位于赣东北深大断裂带应变中心上盘,金山韧性剪切带中。金山韧性剪切带倾向 NW, 倾角  $5^\circ \sim 35^\circ$ , 呈舒缓波状延伸。矿区地层主要是中元古界双桥山群浅变质岩系,岩性为板岩、千枚岩、变质晶屑凝灰岩及变质杂岩夹多层变余安山玄武岩。区域上从中元古代到中生代的每个构造旋回都有岩浆活动,以晋宁期和燕山期最为强烈,但矿

区内岩浆岩没有出露(图 1)。

金矿体产于金山韧性剪切带应变中心的糜棱岩-超糜棱岩带中,下界为含碳千糜岩带,以韧性剪切带的主剪切滑动面分隔,上界依次为糜棱岩带、糜棱岩化岩带,是构造-蚀变-金矿化三位一体统一地质作用的产物。金矿化类型有蚀变糜棱岩型、含金石英脉型,前者是矿床的主体,矿体平行剪切带呈似层状产出,与围岩界线不清,厚度变化较大,金品位较为稳定,平均  $3 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$ 。石英脉型矿体主要产在蚀变糜棱岩型矿体上部或穿插其中,规模小,且不稳定。

围岩蚀变类型主要有硅化、黄铁矿化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化等。从蚀变带中心向两侧按照矿物共生组合及金矿化强弱依次划分为:石英-黄铁矿-铁白云石化带、石英-绢云母-白云石化带、绢云母-绿泥石化带。

矿石矿物组合较为简单,金属矿物主要是黄铁矿,其次是毒砂、闪锌矿、黄铜矿、方铅矿等;非金属矿物主要为石英,其次为绢云母、钠长石、铁白云石、绿泥石等。金矿物主要为自然金,呈裂隙金、粒间金存在。主要载金矿物为黄铁矿,其次为毒砂、石英及黄铜矿等。

据野外观察穿插关系及室内镜下鉴定,矿床成

收稿日期:2004-05-08

基金项目:本文为江西金山金矿项目(金山金矿成矿规律及深部成矿预测)部分研究成果。

作者简介:刘志远(1972-),男,博士研究生,1994年毕业于桂林工学院矿产普查与勘探专业,现东北大学博士研究生。

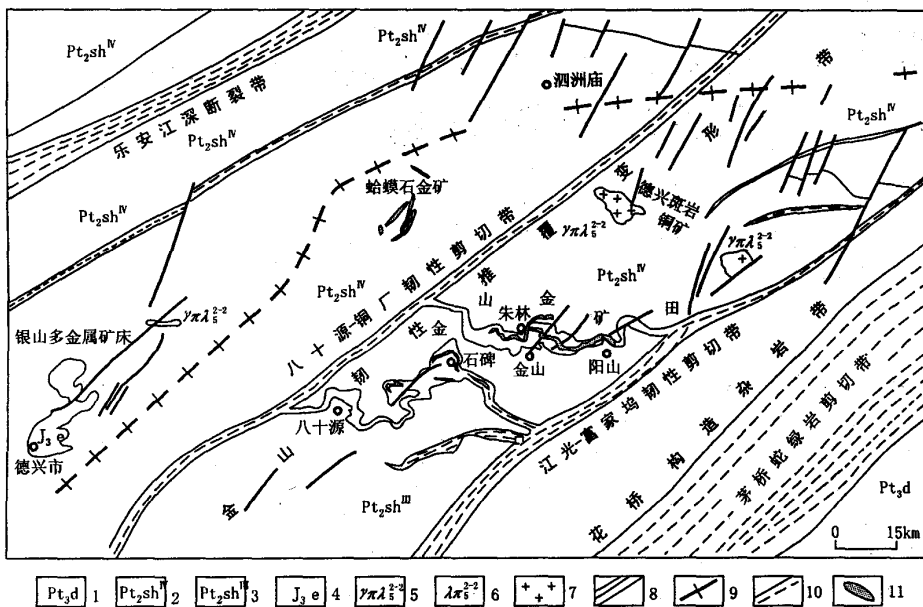


图1 江西金山金矿区域地质简图(据华仁民)

Fig.1 Geological sketch of Jinshan gold deposit

1. 登山群 2. 双桥山群第四岩性组 3. 双桥山群第三岩性组 4. 上侏罗统鹅湖岭组  
5. 花岗闪长斑岩 6. 英安斑岩 7. 岩体 8. 韧性剪切带 9. 褶皱 10. 断裂 11. 金矿床

矿演化划分为三个成矿期:区域变质成矿期、动力变质成矿期和叠加改造期。区域变质成矿期发生在晋宁运动I幕,只有石英-(黄铁矿)一个成矿阶段,形成双桥山群浅变质岩系,较纯净的乳白色石英脉体顺层产出,黄铁矿化弱,形成金的初步富集。动力变质成矿期发生在晋宁运动II幕,为金主成矿期,划分为硫化物-自然金-石英阶段和石英-碳酸盐阶段,其中前一阶段是金的主要沉淀成矿阶段,伴随灰白色、烟灰色石英脉体的贯入,产生强烈的蚀变作用,分别形成蚀变糜棱岩型、含金石英脉型矿体;后一阶段白色的碳酸盐(石英)脉体穿插矿体、蚀变带及围岩,矿化弱。叠加改造作用发生在燕山期,只有石英-黄铁矿一个阶段,石英以极细脉状或网脉状穿插早期形成的矿体,对矿体的叠加改造作用促使金再次富集,据野外实际观察,此阶段并不普遍出现,但在叠加部位是金强烈矿化浓集区。

## 2 流体包裹体特征

### 2.1 流体包裹体类型

据室温下包裹体物相种类和相比,加热状态下流体包裹体的性状及产出特征,可区分出包裹体类

型如下(图2):

(1)气液两相盐溶液包裹体:这类包裹体室温下为两相,均一至液相,气液比值5%~50%,其中以5%~10%居多。这类包裹体在矿石中分布广泛,约占包裹体总数的80%~85%。

(2)纯气体包裹体:室温下为单相气体包裹体,约占包裹体总数的5%。

(3)有机包裹体:为气态烃类包裹体。与成矿期石英和晚期碳酸盐矿

物紧密共生,形态不规则,镜下为黑色,约占包裹体总数的10%。

(4)含CO<sub>2</sub>包裹体:这类包裹体数量很少,在富含金的样品中出现两相或单相CO<sub>2</sub>包裹体。

总体上,流体包裹体数量少,以原生为主,形态各异的包裹体共存现象较普遍。多数不规则,部分呈椭圆、圆形、三角形。体积小,直径一般为2~5μm或更小,少数达到10~12μm。在区域变质成矿期的石英-(黄铁矿)阶段,石英中包裹体很少,仅见NaCl-H<sub>2</sub>O两相包裹体。在动力变质成矿期的两个成矿阶段中,上述各类包裹体均相对较为发育,而且共存现象普遍,这说明流体来源复杂以及成矿热液发生过相态分离<sup>[3]</sup>。在叠加改造期中,见少量NaCl-H<sub>2</sub>O两相包裹体和纯CO<sub>2</sub>包裹体,同时沿剪切裂隙充填较多次生包裹体。纯CO<sub>2</sub>包裹体的存在说明流体具有深部来源特征,反映外围岩浆岩对矿床的影响;次生包裹体的发育也是这期金矿化形成较晚的特点之一<sup>[4]</sup>。与金山金矿毗邻的德兴斑岩铜矿的主成矿阶段流体来源于燕山期中酸性岩浆岩,此类花岗闪长斑岩由北西向南东侵入于双桥山群浅变质火山沉积岩中,在深部,金山金矿床靠近斑岩铜矿部位剪切带依然存在,沿剪切带上升的岩浆热液对矿床具有叠加改造作用。

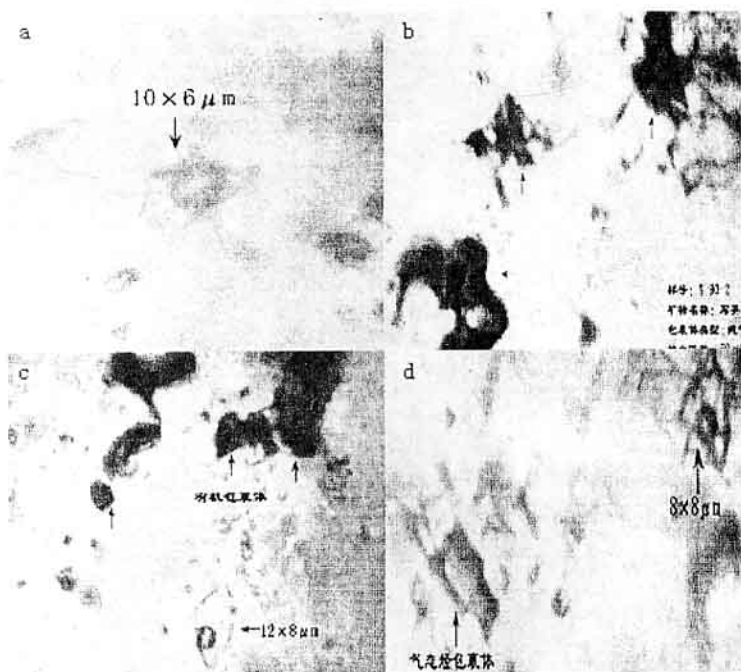


图 2 金山金矿床中典型流体包裹体类型

Fig. 2 Typical fluid inclusions in the Jinshan gold deposit

- a. 石英中富气体包裹体; b. 石英中纯气体包裹体;
- c. 石英中盐水溶液和有机包裹体; d. 方解石中盐水溶液和纯气体包裹体

### 2.2 流体包裹体温度、盐度和密度

对包裹体进行均一温度法测温和冷冻法测盐度在英国 LINKAM THMS600 冷热台上进行,测定结果见表 1。由于早期区域变质过程中负变质侧分泌作用产生的石英中包裹体较少,适于测温的更少,仅测得个别数据,均一温度最高达 383℃,其他数据主要来自自主成矿期中的包裹体。据所测均一温度数据作直方图可以看出,蚀变糜棱岩型矿体均一温度变化范围较大,石英中包裹体的均一温度为 101~380℃,但明显出现 140~190℃、240~290℃ 两个峰

值,碳酸盐矿物中包裹体的均一温度集中出现在 180~210℃ 之间(图 3 左)。石英脉型矿体的均一温度变化范围从 120~360℃,两个峰值出现在 210~230℃ 和 130~150℃(图 3 右)。矿床盐度属低盐度范围(0.88%~7.02%),与国内外变质岩中韧性剪切带型金矿床盐度特征(小于 10%)相近<sup>[5]</sup>。由所测盐度与均一温度作流体包裹体 *t-w-p* 相关图(图 4),表明矿床成矿流体具有中低温、低密度和低盐度的特点。图中温度、盐度、密度变化范围相对较大,有着不同的集中区域,出现较明显的流体包裹体群,说明流体的主要成分复杂,性质不同,来源不同。结合各成矿阶段矿物组合的研究,认为在金成矿期的不同成矿阶段中流体包裹体的温度、盐度和密度相应不同变化。在硫化物-自然金-石英阶段均一温度为 240~290℃,众数为 282℃,盐度为 2.74%~3.55%,平均 3.18%,密度为 0.70~0.85 g/cm<sup>3</sup>;在石英-碳酸盐阶段均一温度为 180~210℃,众数为 190℃,盐度为 1.57%~3.39%,平均 2.50%,密度为 0.85~0.90 g/cm<sup>3</sup>,说明当体系处于相对较高温度时,流体为高盐度、低密度状态,随着成矿作用的进行,流体温度逐渐降低,向低盐度、高密度状态转变。在叠加改造阶段均一温度为 140~190℃,众数为 163℃,盐度为 6.01%~6.45%,平均 5.40%,密度为 0.90~1.00 g/cm<sup>3</sup>,推测是岩浆水与大气降水混合,产生这种温度相对下降、盐度、密度相对增加的流体。石英脉型矿体中石英流体包裹体的均一温度为 210~230℃,众数为 229℃,

表 1 流体包裹体特征及均一温度、盐度和压力

Table 1 Characteristics of homogenization temperature, salinity, pressure of the fluid inclusions

矿石类型	成矿阶段	主矿物	大小/ $\mu\text{m}$	气液比/%	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$	冷冻温度/ $^{\circ}\text{C}$	盐度/%	形成压力/ MPa
蚀变糜棱岩	硫化物-自然金-石英	石英	2~6	5~30	240~290(282)	-1.6~-2.1	2.74~3.55(3.18)	74
	石英-碳酸盐	石英、方解石	2~10	5~20	180~210(190)	-0.9~-2.0	1.57~3.39(2.50)	48
含金石英脉	叠加改造阶段	石英	3~8	5~10	140~190(163)	-1.1~-4.0	6.01~6.45(5.40)	44
	主成矿期	石英	2~4	5~50	210~230(229)	-0.5~-0.9	4.03~7.02(4.87)	62
	叠加改造期	石英	4~12	5~10	130~150(141)	-1.72~-4.03	0.88~1.57(1.23)	32

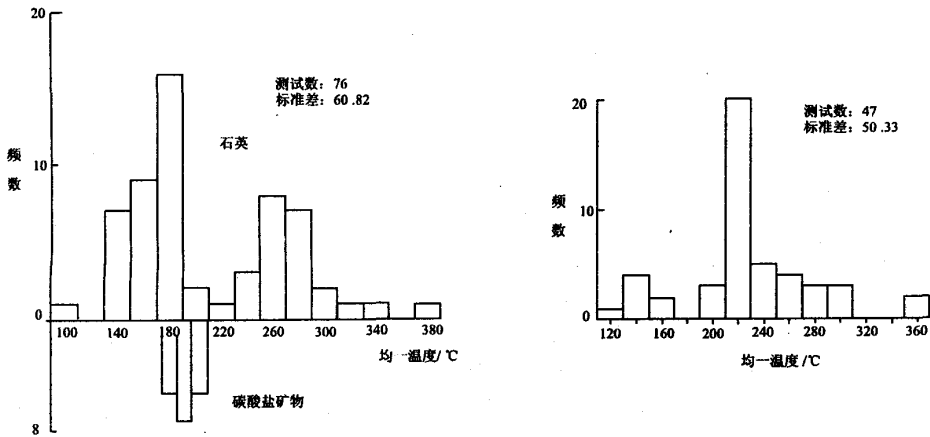


图3 蚀变糜棱岩、含金石英脉中流体包裹体均一温度直方图

Fig. 3 Histograms of homogenization temperature of the fluid inclusions of mylonite and quartz vein

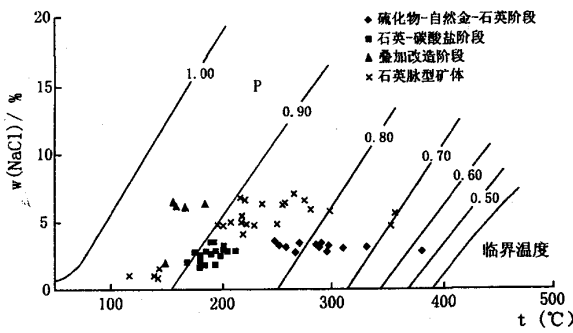


图4 流体包裹体  $t-w-p$  相关图  
(S. N. Ahmad 等, 1980)

Fig. 4 Homogenization temperature and salinity and density plot of the fluid inclusions

盐度为 4.03%~7.02%，平均 4.87%，密度为 0.80~0.90 g/cm<sup>3</sup>，总体上与蚀变糜棱岩型矿体的流体包裹体特征相近，另外石英脉中还有部分流体包裹体的均一温度为 130~150℃，众数为 141℃，盐度为 0.88%~1.57%，平均 1.23%，密度为 0.90~1.00 g/cm<sup>3</sup>，显示了随流体演化，后期大气降水作用的增强。上述流体包裹体特征的差别与成矿热事件的多期性和多阶段性相吻合，由于构造活动的多阶段性，成矿热液具有脉动充填的特点，成矿作用从早阶段至晚阶段温度下降。

### 2.3 流体包裹体成分特征

形成含金糜棱岩和含金石英脉的流体在成分上大致相同(表 2)。原始成矿热液为富含 Ca<sup>2+</sup>，Mg<sup>2+</sup>，Na<sup>+</sup>，K<sup>+</sup>，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，F<sup>-</sup>，Cl<sup>-</sup>，H<sub>2</sub>O，CO<sub>2</sub>，CH<sub>4</sub> 的流体。成矿流体的液相成分阳离子以 Ca<sup>2+</sup>，Mg<sup>2+</sup>，

Na<sup>+</sup>，K<sup>+</sup> 为主，Na<sup>+</sup> 和 K<sup>+</sup> 的总量低于 Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 的总量，表明成矿流体以变质流体为主<sup>[6]</sup>。K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> 比值大多小于 1，个别大于 1，反映外围岩浆岩对成矿的影响。阴离子以 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 为主，其次为 F<sup>-</sup> 和 Cl<sup>-</sup>，SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量反映的是介质中与金迁移有密切关联的 HS<sup>-</sup> 的含量，表明 Au 主要以金硫络合物的形式存在。Cl<sup>-</sup>/F<sup>-</sup> 比值变化大(0.50~5.30)，表明热液活动的增强和各种来源的热液的汇集，可能在变质热液的基础上又有后期岩浆热液的叠加，这对成矿极为有利；气体成分主要为 H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub>，与镜下观察到金矿物颗粒附近石英中 CO<sub>2</sub> 包裹体增加一致，这也从侧面证明 CO<sub>2</sub> 和 NaCl-H<sub>2</sub>O 的分离对金沉淀起重要作用。在金矿研究中，一般认为 CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 比值在 0.02~0.03 是找金的标志，本区矿体其比值在 0.25~0.44 之间，最高达 1.02，可以作为矿区富金矿段与贫金矿段的标志。

## 3 成矿物理化学条件

### 3.1 流体捕获的温度和压力

根据包裹体测温结果，上述均一温度大致反映成矿最低温度(流体捕获温度的下限)。利用石英中流体包裹体的均一温度和盐度(据邵洁莲，1986)测算不同成矿阶段流体的捕获压力(表 1)，矿床形成从早期到晚期压力逐渐下降。由于体系处于半开放-开放状态，故成矿压力反映的主要是流体自身的压力。金矿主成矿期的压力为 74 MPa，以此做为静岩压力，按照地压梯度换算矿床的成矿深度大致在 3 km

表 2 两类矿石流体包裹体成分分析特征值

Table 2 Feature values of the fluid inclusions from two types of gold ores

矿石类型	液相成分 $w_B(10^{-6})$							气相成分 $m_B(\text{mol/g})$					
	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>	K <sup>+</sup> /Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup> /F <sup>-</sup>	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O
蚀变 糜棱岩	0.36	0.74	0.37	0.25	0.25	0.21	0.67	20.47	56.98	0.27	0.49	0.84	0.36
	0.40	0.66	1.46	1.03	0.10	0.33	0.84	21.29	48.36	1.28	0.61	3.30	0.44
	0.40	0.25	1.36	0.49	0.03	0.16	0.71	18.54	53.72	1.43	1.60	5.30	0.35
	0.09	0.39	2.21	0.42	0.55	0.26	0.47	12.80	51.84	2.06	0.23	0.47	0.25
含金 石英脉	0.04	0.03	0.22	0.04	0.02	0.01	0.03	8.90	43.74	8.09	1.33	0.50	0.20
	0.05	0.06	0.17	0.03	0.08	0.07	0.03	13.33	13.02	13.02	0.83	0.87	1.02
	0.04	0.05	0.28	0.09	0.02	0.07	0.11	10.04	33.36	7.41	0.80	3.50	0.30
	0.05	0.04	0.32	0.06	0.02	0.02	0.02	12.27	44.93	11.86	1.25	1.00	0.27

数据引自南京大学地质系

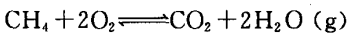
(增压率为 101 MPa/km),属于中浅成中低温热液矿床。成矿深度小于按矿物变形所估算的深度(5~10 km),说明矿床形成时有过压力释放的过程。这与富 CO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 和富 H<sub>2</sub>O 包裹体同时共存,说明断裂带中成矿热液流体相有分离现象吻合。

### 3.2 成矿流体的 pH, Eh, f<sub>O<sub>2</sub></sub>

pH 值对热液体系中各种化学反应及矿质沉淀影响极大,据包裹体成分测定的成矿溶液的 pH 值 4.46~8.43,为弱酸-偏碱性。

氧化还原电位(Eh)能定量地衡量成矿溶液的氧化-还原程度,与 pH 值关系密切,经计算 Eh 值平均为 -0.56 V,表明成矿在较强的还原环境中进行。

氧逸度(f<sub>O<sub>2</sub></sub>)也是了解金沉淀条件的重要参数。由于氧很活泼,在一定的温、压条件下多与物质发生化学反应,生成水和相应的氧化物。根据热力学原理,热液中存在以下平衡:



所以通过计算可以得到成矿流体的氧逸度:

$\log f_{\text{O}_2}$  为 -36~-52,表明成矿为相对还原的环境。

## 4 稳定同位素特征

### 4.1 硫同位素组成

流体的硫同位素组成可以根据硫化物的  $\delta(^{34}\text{S})$  推算,硫化物的  $\delta(^{34}\text{S})$  取决于流体的  $\delta(\Sigma^{34}\text{S})$  以及温度、EH、pH 等条件,结合金山金矿床硫化物占决定优势的矿物组合特征及流体包裹体的研究,可以认为硫化物的  $\delta(^{34}\text{S})$  近似代表流体的  $\delta(\Sigma^{34}\text{S})$ 。对两种类型矿石中黄铁矿和方铅矿的硫同位素组成进行了测试,其中蚀变糜棱岩型矿体硫化物的硫同位素组成  $\delta(^{34}\text{S}) = 3.5 \times 10^{-3} \sim 7.5 \times 10^{-3}$ ,石英脉型矿体  $\delta(^{34}\text{S}) = 3.9 \times 10^{-3} \sim 4.6 \times 10^{-3}$ ,离散程度较低(表 3),具有深源硫特征,表明成矿流体的硫主要来源于富含深部物质的火山沉积的双桥山群含矿建造。

表 3 金山金矿床硫同位素组成

Table 3  $\delta^{34}\text{S}$  composition of the Jinshan gold deposit

岩石类型	样品数	矿物	$\delta(^{34}\text{S})/10^{-3}$	$\delta(^{34}\text{S})$ 平均值/ $10^{-3}$	离散度
蚀变糜棱岩	8	黄铁矿、方铅矿	3.5~7.5	4.44	1.27
含金石英脉	2	黄铁矿	3.9~4.6	4.25	0.49

中国地质科学院矿产资源研究所测试

### 4.2 氢、氧同位素组成

综合前人资料(表 4)可知,金山金矿成矿流体的  $\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}})$  变化于  $-8.21 \times 10^{-3} \sim 11.35 \times 10^{-3}$ ,比较集中于  $6.0 \times 10^{-3} \sim 10.49 \times 10^{-3}$ ,氢同位素组成  $\delta$

(D)为  $-89.8 \times 10^{-3} \sim -45.8 \times 10^{-3}$ 。显示出该金矿床成矿流体的氢氧同位素组成分布的离散度较大,兼具变质水、岩浆水和大气降水的特征,比较集中于变质水。

表4 金山金矿床流体包裹体氢氧同位素组成  
Table 4 Hydrogen and oxygen isotope compositions  
of fluid inclusions in the Jinshan gold deposit

样品	测试矿物	$\delta(^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}})/10^{-3}$	$\delta(\text{D})/10^{-3}$	资料来源
含金石英脉	石英	7.67	-63.67	[7]
	石英	10.41	-58.06	
	石英	8.74	-59.91	
含金石英脉	石英	-4.46	-56.68	[8]
	石英	-8.21	-55.46	
	石英	2.93	-53.62	
含金石英脉	石英	8.1	-88.6	[9]
	石英	9.0	-59.2	
	石英	6.0	-66.3	
	石英	6.3	-45.8	
	石英	6.0	-89.8	
	石英	2.23	-63.4	
含金石英脉	石英	11.35	-63.9	①
	石英	4.15	-52.9	
含金石英脉	石英	11.35	-63.9	[10]
	石英	10.49	-60.5	
	石英	5.46	-64.8	
	石英	7.82	-63.4	

①江西金山矿区金矿勘探地质报告, 1993.

## 5 成矿流体来源探讨

成矿流体同位素演化的复杂性, 揭示出成矿流体的多源性。成矿流体的研究与矿床成因、成矿机制的研究密切相关, 成矿流体的不同来源代表了金山金矿床不同的成矿作用过程。由流体包裹体成分特征、氢氧同位素组成, 结合其他地质-地球化学证据表明, 金山金矿床成矿流体来源具多源性:

(1) 变质热流体。成矿作用发生于韧性剪切塑性变形以后的脆性变形阶段, 构造热事件导致矿区岩石普遍变形、变质, 大量的变质热液对矿床形成有着重要意义。流体包裹体研究表明, 液相成分主要是  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  和  $\text{SO}_4^{2-}$ , 气相成分主要是  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$ , 与国内外其他韧性剪切带型金矿床相对比,  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$  和变质热液型金矿区别于其他类型金矿的特征。H, O 同位素组成也反映成矿流体的介质以变质水为主。

(2) 深源流体。赣东北深断裂对金山金矿床的形成具有重要的控制作用, 同时中生代区域岩浆活

动强烈, 在相距仅 1.5 km 的德兴地区, 形成了著名的超大型斑岩铜矿床。伍勤生测得的金山矿区伊利石 Rb-Sr 等时年龄值为  $(167.9 \pm 5.21) \text{ Ma}$ ,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.7141 \pm 0.0015$ , 与邻区铜厂花岗闪长斑岩和闪长玢岩同位素年龄数据及  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  初始值相近; 纯  $\text{CO}_2$  包裹体的出现; 部分样品成矿流体盐度较高; 多数样品主要成分的比值变化较大, 如  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  比值和  $\text{Cl}^-/\text{F}^-$  比值, 这表明热液活动的增强和各种来源的热液的汇集。综合以上分析, 反映有燕山期岩浆热液成矿作用的叠加, 燕山期岩浆活动触发的大气降水环流对金的后期叠加成矿可能起重要作用。

(3) 大气降水形成的热流体。成矿流体中大气降水成因证据具有普遍性, 季峻峰等<sup>[3]</sup>的测定表明, 金山金矿次生流体包裹体的总碳同位素组成为  $-0.47 \times 10^{-3} \sim 2.48 \times 10^{-3}$ , 具有再循环大气降水的碳同位素组成特点 ( $0 \sim 9 \times 10^{-3}$ )。以上研究认为: 在韧性剪切过程中, 成矿热液为变质水和富含有机质的大气降水的混合流体, 形成蚀变糜棱岩和含金石英脉两类矿体; 受燕山期中酸性岩浆侵入活动的影响, 由岩浆水和富含有机质的大气降水共同作用, 对早期形成的矿体叠加改造。成矿流体从早期到晚期一直有大气降水的不断加入。象金山金矿有这样丰富的有机包裹体, 成矿流体中的有机流体主要还是大气降水与双桥山群富含有机质的岩层相互作用, 形成富含有机质的流体, 与变质水或岩浆水混合形成混合流体。有机质的参与对于改变溶液的 pH 和 Eh, 改变氧化还原环境致使有用组分沉淀有着重要作用<sup>[11]</sup>。

## 6 金的沉淀机理及矿床成因

金山金矿床成矿流体液相化学成分阴离子以  $\text{SO}_4^{2-}$  为主, 主成矿阶段成矿温度为  $240 \sim 290^\circ\text{C}$ , 成矿溶液的酸碱度为  $4.46 \sim 8.43$ , 为弱酸性-碱性, Eh,  $f_{\text{O}_2}$  表明成矿在还原环境中进行。一般认为, 在中低温、富硫还原及中偏碱性溶液中,  $[\text{Au}(\text{HS})_2]^-$  金-硫络合物占优势。另外, 据傅家谟等 (1986, 1990) 试验证明, 由于有机流体的存在, 含有机质的水溶液比单纯只含无机盐的水溶液其矿质的溶解度高得多, 有机配位基可以和 Au 元素形成稳定的 Au-有机络合物。因此金主要以上述两种形式迁移。

区域变质作用过程中, 分散在岩石中各种状态

的原生水,在升温、升压作用下,发生脱水反应,形成变质流体。这种流体在岩石内部活动,淋滤含大量硫化物、硫酸盐的火山沉积岩,把岩石中的金活化出来,形成金硫络合物。特别是由于含碳岩系中大量有机质的存在,大大提高了矿物的溶解度,把矿物中所含金属元素活化、萃取出来并形成稳定的有机络合物带入流体中迁移<sup>[12,13]</sup>,这些金的络合物存在于岩石的孔隙和微裂隙中,此时体系封闭,络合物稳定。

在韧性剪切过程中,岩石剪切变形,形成高渗透率的韧性剪切带,同时产生的大量热能促使流体进一步淋滤围岩,然后运移、聚集而形成含矿热液。当剪切构造由韧性向脆性或脆韧性过渡时,裂隙多次张开,形成构造扩容带,导致流体压力降低。压力对成矿起着重要作用,成矿溶液中化合物及金属的溶解与压力有密切的关系,压力释放,成矿系统热力学平衡遭到破坏,压力差是成矿热液的主要驱动力,促使其从围岩流入扩容带,流体发生相态分离;同时与沿剪切带下渗的大量富含有机质的大气降水进一步混合,此类富含有机质的混合流体作用增强<sup>[14]</sup>,种种因素综合作用,体系温度降低,盐度降低,发生物理化学条件的变化,如气体逸出、溶液氧化性增强、溶液稀释及硫化物沉淀,造成 $[\text{Au}(\text{HS})_2]^-$ 络合物和Au-有机络合物稳定性破坏并分解,引起金的沉淀。另外剪切作用具有多次活动的特点,所产生的高温有利于热液对围岩淋滤作用的进行,后期的剪切运动可以使带内已经初步富集的金再次富集。

受燕山期中酸性岩浆侵入活动的影响,岩浆水和富含有机质的大气降水形成的混合流体在岩浆热液产生的热动力下,沿剪切带上升,对早期形成的矿体叠加改造,促使金等成矿物质再次活化、迁移、富集成矿。

上述几个控制金沉淀的因素,包括单一流体不混溶造成流体发生相态分离、不同种类流体的混合、流体中有机质的参与,在成矿中的作用是相辅相成的,热液活动受构造演化制约,二者的充分耦合是成矿的关键。从碳酸盐、石英等脉体的充填-交代构造来看,流体主要沿着主剪切面及其两侧的次级断裂流动和沉淀。当剪切带处于脆性或脆性变形过程中,体系呈最大的开放状态,成矿流体流动通畅,可以致使大量的流体汇集和沉淀,因而剪切带内脆性

或脆性变形地段是金矿化最有利地段<sup>[15]</sup>,具有形成大规模矿化的能力。

超大型金山金矿床的形成是在特定地质构造背景下,以丰富的矿源为基础,成矿流体长期多次高度集中活动以及多期次的成矿作用等众多因素耦合的结果。金山金矿床经历了初始矿源层→区域变质→动力变质→叠加改造的形成演化全过程。

#### 参考文献:

- [1] 邓国祥. 赣东北乐华—德兴铜金多金属成矿带成矿特征及找矿预测[J]. 地质找矿论丛, 2004, 19(2): 83-86.
- [2] 华仁民, 李晓峰, 陆建军, 等. 德兴大型铜金矿集区构造环境和成矿流体研究进展[J]. 地球科学进展, 2000, 15(5): 524-533.
- [3] Bodnar R J, Reynolds T J, Kuehn C A. Fluid inclusion systematics in the epithermal systems: Reviews in Economic Geology[J]. Econ Geol, 1985, (2): 73-97.
- [4] 季峻峰, 孙承轅, 郑晴. 江西金山韧性剪切带型金矿床中含金石英脉的成矿特征[J]. 地质论评, 1994, 40(4): 361-366.
- [5] 卢焕章, 李秉伦, 沈昆, 等. 包裹体地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1989. 43-95.
- [6] 中国科学院矿床地球化学开放实验室. 矿床地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1997. 373-401.
- [7] 黄宏立, 杨文思. 赣东北金山金矿床的地质特征及矿床成因[J]. 地质找矿论丛, 1990, 4(2): 29-39.
- [8] 朱恺军, 范宏瑞. 江西金山金矿床层控成因的地质地球化学证据[J]. 地质找矿论丛, 1991, 6(4): 18-27.
- [9] 季峻峰, 刘英俊, 孙承轅, 等. 江西金山剪切带型金矿床两类矿石的地球化学特征——兼论两阶段成矿机制[J]. 地球化学, 1994, 3(3): 226-234.
- [10] 曾键年, 范永香, 马宪. 江西金山金矿床成矿流体地球化学[J]. 黄金地质, 2001, 7(1): 26-32.
- [11] 张文淮, 张志坚, 伍刚. 成矿流体及成矿机制[J]. 地学前缘, 1996, (3): 245-252.
- [12] Gatellier J P et al. Organic matter and gold-ore association in hydrothermal deposits[J]. Applied Geochemistry, 1989, 3(4): 143-149.
- [13] Surdan R C. The Chemistry of Secondary porosity: In clastic diagenesis[J]. Am Assoc Pet Geol Mem. 1984, (37): 127-150.
- [14] Ridley J, Mikucki E J, Grves D I. Archean lode-gold deposits: fluid flow and chemical evolution in venically extensive hydrothermal systems[J]. Ore Geology Rev. 1996, (10): 279-293.
- [15] 卢焕章, 池国祥, 王中刚. 典型金属矿床的成因及其构造环境[M]. 北京: 地质出版社, 1995. 156-209.

## CHARACTERISTICS OF GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY IN WUNAN GOLD DEPOSIT, XINJIANG

CHAO Hui-xia<sup>1</sup>, YANG Xing-ke<sup>1</sup>, LIANG Guang-lin<sup>2</sup>, MA Li-cheng<sup>1</sup>, SUN Ji-dong<sup>1</sup>

(1. *School of Earth Sciences and Resources Management, Changan University, Xian 710054, China;*

2. *No. 1 Geological party Bureau of Geology & Mineral Resources Exploration and  
Development of Xinjiang, Changji 831100, China)*

**Abstract:** The Carlin-type gold deposit, Wunan gold deposit, was first found recently in carbonate rock stratum. According to the geological background and characteristics of the ore area, the paper distinguish that ore body exist in impurity carbonate rock. REE distribution patterns of the ore and wall rock are similar in right-dipping type abundant with LREE, showing ore-forming inheritance and acidic porphyry, the supplier of heat and parts of ore fluid. Carbonate rock of Carboniferous system become favorable wall rock for gold mineralization and later structure activity make ore materials mobilize for hydrothermal fluid replacement and enrichment.

**Key words:** Wunan gold deposit; REE geochemistry; Carlin-type

~~~~~  
(上接第 99 页)

## ORE FLUID GEOCHEMISTRY AND THE DISCUSSION ON ORE GEGESIS OF JINSHAN GOLD DEPOSIT, JIANGXI PROVINCE

LIU Zhi-yuan<sup>1,2</sup>, JIN Cheng-zhu<sup>1</sup>, WANG Rong-hu<sup>1,3</sup>, LIANG Jun-hong<sup>1</sup>

(1. *College of Resource and Civil Engineering, Northeast University, Shenyang 110004, China;*

2. *Institute of Nonferrous Geology & Exploration, Dandong 118008, China;*

3. *Liaoning Gold Corporation, Shenyang 110006, China)*

**Abstract:** Fluid inclusion studies have been carried out in the Jinshan ductile shear zone type gold deposit. The ore fluid is medium or low in temperature and low in salinity and density. The chemical compositions of inclusions show that the ore fluid is the  $\text{Ca}^{2+}$ - $\text{Mg}^{2+}$ - $\text{SO}_4^{2-}$ - $\text{CO}_2$  type. The evidences obtained from fluid inclusions indicate that the ore fluids are mainly mixture fluids, which include metamorphic water and meteoric water enriched in organic matter and some anatectic magma water. Fluids characters in time and space are responded to the coupling of hydrothermal activity and structural development. It is considered that the key factors of gold mineralization are of two or more fluids, sole fluid immiscibility, incorporation of organic materials into sea water system.

**Key words:** fluid inclusion; ore-forming; anatectic magma fluid; organic matter; Jiangxi province