海南土外山金矿床流体包裹体特征及其地质意义

杨国强[1)], 毛景文[1,2)], 吕林素[1)], 刘珺[1)], 杨静[3)]
1) 中国地质大学, 北京, 100083; 2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037;
3) 长安大学, 西安, 710064

内容提要: 土外山金矿位于海南西部戈枕含金剪切带的北东端, 属于破碎蚀变岩型金矿, 矿体主要分布在剪切带下盘的混合岩中。流体包裹体的研究表明, 该矿床的原生包裹体主要以气液包裹体为主, 含 CO_2 包裹体较少, 成矿流体属于 NaCl-H_2O 型热液体系; 早、中、晚三个成矿阶段的均一温度范围分别为 240~320℃, 210~260℃, 180~240℃, 盐度分别范围为 8%~10%, 4%~8%, 3%~8%, 具有中低温、低盐度特点。氢氧同位素测试表明成矿流体主要是岩浆水、大气降水的混合。成矿流体在演化过程中不断有大气降水的加入, 导致成矿温度和盐度呈规律下降。

关键词: 金矿床; 流体包裹体; 地质意义; 土外山; 海南

土外山金矿属破碎蚀变岩型金矿, 位于海南西部戈枕含金剪切带北东端。在该成矿带上, 自北东向南西依次产有土外山、抱板、北牛、二甲和不磨等金矿床(图 1), 构成了海南岛有重要工业价值的金矿成矿带。自 20 世纪 80 年代末以来, 许多地质学者对该地区的区域地质特征、地质构造、矿床地球化学以及矿床成因作了大量的研究(丁式江等, 1994, 1995; 侯威等, 1996; 江明贵等, 2004; 夏勇等, 1994, 1995, 2002; 肖力等, 1998, 1999; 许德如等, 1999; 杨元根等, 1997; 战明国等, 1996), 揭示了戈枕剪切带主要地质历史时期的大地构造演化和成矿规律。但对外土山金矿成矿流体的研究尚不够, 本文在前人研究的基础上, 通过对流体包裹体的观察和测试, 结合氢氧同位素, 探讨了土外山金矿的成矿流体特征及其地质意义。

1 区域地质特征

土外山金矿处于戈枕韧脆性剪切带的北东段, 琼中西部。区域上出露的地层主要为中元古界抱板群以及寒武-志留系南碧沟群, 其中抱板群变质岩位于剪切带的上盘, 是主要赋矿围岩, 其岩性主要由混合花岗片麻岩、斜长角闪片岩、混合岩化片岩等组成, 其原岩主要是由一套火山岩组成, 其中部分斜长角闪片岩的原岩相当于拉班玄武岩(侯威等, 1996)。南碧沟群变质岩位于剪切带的下盘, 是一套中-浅变质岩, 其岩性主要由石英绢云母片岩、绢云母石英片岩和变质石英砂岩等组成。

区域断裂构造发育, 可分为东西向、南北向、北东向和北西向四组, 其中以戈枕韧性剪切带为代表的北东向构造为该区的主要控矿构造。该剪切带北东段出露部位为脆-韧性或脆性, 南西段表现为韧-脆性变形环境, 从而使金矿的成矿作用也有所差异, 从北东向南西形成三种不同类型金矿, 即破碎蚀变岩型(土外山、抱板、北牛)、糜棱岩型(二甲红甫门岭)以及石英脉型(不磨)(丁式江等, 1994; 战明国等, 1996)(图 1)。

区域上岩浆活动十分频繁, 形成多个侵入体, 主要为海西-印支期的大田岩体、保斑岩体; 印支期的广坝岩体; 燕山期的平岭岩体、尖峰岩体、三猴岭岩体、俄地岩体和居便岩体等, 主要分布于含金剪切带的外围(肖力等, 1998)。

2 矿床地质特征

土外山矿区出露的地层主要为中元古界抱板群变质岩和寒武-志留系南碧沟群变质岩。大致以戈枕断裂为分界, 前者主要分布于戈枕断裂上盘, 后者主要分布于戈枕断裂下盘。而矿体主要受戈枕断裂构造控制, 赋存于断裂上盘低序次的裂隙含金蚀变

注: 本文为中国地质调查局项目"我国主要金属矿床模型研究"(编号 1212010634001)资助的成果。
收稿日期: 2008-07-12; 改回日期: 2008-09-03; 责任编辑: 郝梓国。
作者简介: 杨国强, 男, 1984 年生。岩石, 矿物, 矿床学硕士。Email: gqyang222@sina.com。
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

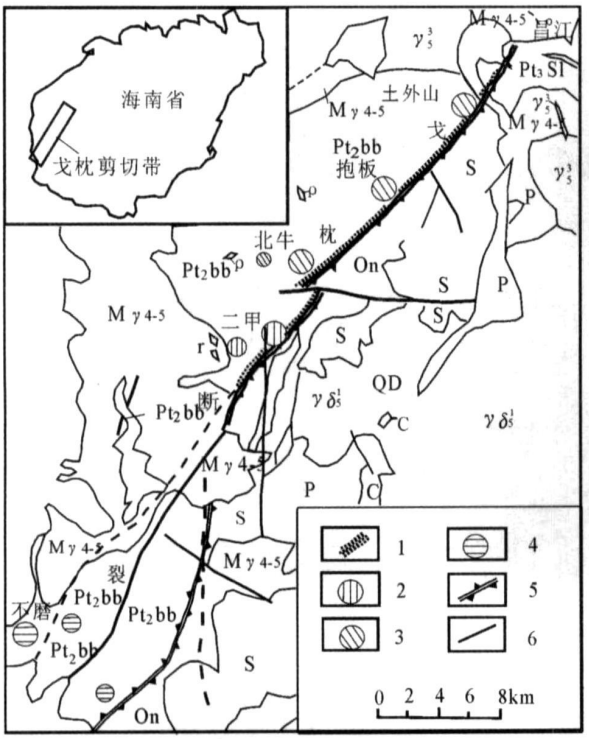


图 1　海南西部戈枕含金剪切带地质略图
(据战明国等, 1996, 略有改动)

Fig. 1 Regional geological sketch map of Gezhen auriferous shear zone, western Hainan province (modified from Zhan et al., 1996)

Q—第四系; P—二叠系石英砂砾岩; C—石炭系石英砂岩; S—志留系绢云母粉砂岩; On—奥陶系南碧沟组碎屑岩; Pt_2bb—中元古界抱板群变质岩; Pt_3sl—上元古界石碌群浅变质岩; γ_5^3—燕山晚期花岗岩; $\xi\gamma_5^2$—燕山早期钾长花岗岩; $\gamma\delta_5^1$—印支期花岗闪长岩; $M\gamma_{4-5}$—海西-印支期混合花岗岩; ρ—伟晶岩体; QX—琼西地体; QD—琼东岩体; r—石英脉; 1—糜棱岩化带; 2—二甲红甫门岭式矿床; 3—北牛式矿床; 4—不磨式矿床; 5—地体拼贴带; 6—脆性断裂

Q—Quaternary; P—Permian quartz glutenite; C—Carboniferous quartz sandstone; S—Silurian sericite siltstone; On—Ordovician nanbigou Formation clastic rock; Pt_2bb—Mesoproterozoic Baoban Group metamorphic rock; Pt_3sl—Upper Proterozoic shilu Group shallow metamorphic rock; γ_5^3—Later Yanshanian granite; $\xi\gamma_5^2$—Early Yanshanian kaligranite; $\gamma\delta_5^1$—Indosinian granodiorite; $M\gamma_{4-5}$—Hercynian-Indosinian migmatitic granite; ρ—pegnatite; QX—Qiongxi terrane; QD—Qiongdong terrane; r—Quartz vein; 1—mylonitiation belt; 2—Erjia-type deposit; 3—Beiniu-type deposit; 4—Bumo-type deposit; 5—terrane cllage belt; 6—brittle fracture

岩中。

土外山金矿总体可分为原生和表生两个成矿期, 原生成矿期划分为三个成矿阶段: 石英-黄铁矿-毒砂阶段(Ⅰ): 主要形成乳白色粗粒石英、粗粒黄铁矿以及少量绢云母等; 石英-多金属硫化物-自然金阶段(Ⅱ): 主要形成烟灰色微粒和隐晶石英、细粒黄铁矿、自然金、少量毒砂、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿及较多的绢云母和少量绿泥石、碳酸盐; 石英-方解石阶段(Ⅲ): 形成主要矿物为粗晶方解石和白色石英。

矿石类型以破碎蚀变岩型为主, 主要是黄铁绢英岩化构造岩, 矿体与围岩界限不明显。矿石的结构复杂多样, 有角砾结构、压碎结构、糜棱结构等; 矿石构造有角砾状构造、眼球条纹-条带状构造以及残余片状-片麻状构造、梳状构造等。围岩蚀变发育, 主要类型有: 硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化、黄铁矿化等。

3　流体包裹体研究

对矿区原生成矿期三个成矿阶段的与成矿相关的石英分别进行了流体包裹体测试, 通过对包裹体薄片的镜下观察, 石英中流体包裹体较发育, 且主要是与成矿作用有关的原生包裹体。

3.1　流体包裹体类型和特征

对 20 件代表性样品的详细观察和测试研究表明, 与成矿关系密切的石英中含有较丰富的流体包裹体, 主要为原生包裹体, 其次有少量次生包裹体; 形状为不规则状、长条状、椭圆状、圆形或多边形状。根据流体包裹体成分以及室温下存在相态, 可将土外山金矿石英中包裹体分为四种类型:

(1) 气液两相包裹体(LV 型) (图 2a, b): 分布广泛, 占包裹体总数的 70% 左右, 为该矿床的主要包裹体类型; 孤立产出或沿生长带分布; 大小主要介于 4 ~ 10μm 之间, 气液比主要介于 10% ~ 15% 之间。

(2) 含液态 CO_2 三相包裹体(C 型) (图 2d, e): 主要分布在第Ⅰ阶段石英中, 数量较少; 室温下呈三相, 由 CO_2(气相) + CO_2(液相) + 水溶液组成, 液相 CO_2 的含量占 30% ~ 50%; 大小介于 6 ~ 10μm 之间。

(3) 富气包裹体(V 型) (图 2c, f): 主要分布于第Ⅰ、Ⅱ阶段石英中, 数量很少, 气液比大于 50%, 气体部分为黑色, 通常呈孤立分布; 大小介于 5 ~ 10μm 之间。

(4) 富液相包裹体(L 型): 主要分布于第Ⅰ、Ⅱ两阶段石英中, 体积较小, 主要介于 3~ 6μm 之间。

在成矿第Ⅰ阶段含有富液相包裹体、含 CO_2 三相包裹体、富气相包裹体; 而在第Ⅱ阶段以两相和富液相包裹体为主; 第Ⅲ阶段以气液两相和富气相包裹体为主。成矿早期各种类型包裹体共存, 并具有

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

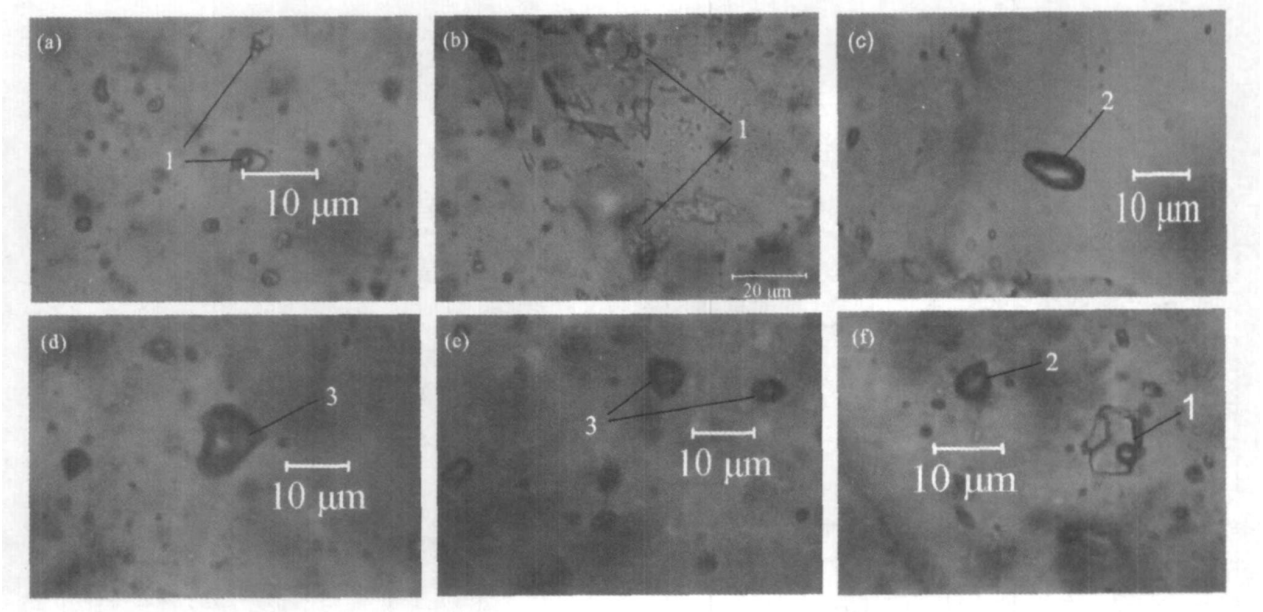


图 2 土外山金矿流体包裹体显微照片

Fig. 2 Photomicrographs of fluid inclusion in the Tuwaishan gold deposit

a(1), b(1), f(1) —气液两相包裹体; c(2), f(2) —富气包裹体; d(3), e(3) —CO_2-H_2O 的三相包裹体

a(1), b(1), f(1) —Aqueous two-phase inclusions; c(2), f(2) —Vapor-rich inclusions; d(3), e(3) —Three phase CO_2-H_2O inclusions

相似的均一温度范围。根据流体包裹体的出溶温度判断其主要成分为 H_2O 和 NaCl, 次有少量 CO_2。

3.2 显微测温结果

实验所选用的热台为英国 Linkam THMSG 600 型冷热台, 其温度控制范围为- 196~ 600 ℃, 精度为 0.1 ℃, 升降温速率为 0.1~ 130 ℃/min。所用的显微镜为德国ZEISS 公司生产的 Axioskop 40 和 Axiolab 型号的显微镜, 其放大倍数为 100~ 800 倍, 包裹体测定时选用的放大倍数为 500倍。在- 56.6、0.0和374.1 ℃, 系统用人造包裹体进行了校正(Sterner et al., 1984)。本次实验低温测定精度控制在 ±0.2 ℃, 高温测定控制在 ±1 ℃。对两相(LV) 包裹体, 盐度由 NaCl-H_2O 体系的冰点温度, 利用经验公式(Bodnar et al., 1994) 来计算, 密度利用经验公式(刘斌, 1987) 来求得。对三个成矿阶段的 20 个石英样品的流体包裹体进行了测温(表 1)。

(1) 石英-黄铁矿-毒砂阶段: 该成矿阶段主要是两相(LV) 包裹体, 少量含液态 CO_2 三相包裹体, 多为原生包裹体, 形态较规则, 少数不规则, 颗粒

表 1 土外山金矿床流体包裹体特征及参数

Table 1 Characteristics and parameters of primary fluid inclusions in the Tuwaishan gold deposit

阶段	主矿物	颗粒直径(μm)	气液比(%)	均一温度(℃)		盐度(%)		密度(g/m³)		样品件数	测量包裹体数
				范围	均值	范围	均值	范围	均值		
Ⅰ	石英	4~ 10	5~ 30	180~ 330	266	2.24~ 12.85	7.3	0.72~ 0.91	0.84	3	50
	石英	6~ 20	10~ 30	215~ 347	280	5.71~ 13.4	8.6	0.75~ 0.92	0.85	2	28
总体				180~ 347	271	2.24~ 13.4	7.7	0.72~ 0.92	0.84	5	78
Ⅱ	石英	4~ 10	10~ 20	165~ 260	225	3.39~ 12.85	7.5	0.83~ 1	0.89	2	33
	石英	4~ 20	10~ 15	140~ 290	222	2.9~ 10.73	5.7	0.75~ 0.94	0.88	5	85
	石英	6~ 8	10~ 15	240~ 255	248	8.95~ 9.21	9.08	0.87~ 0.89	0.88	1	4
总体				140~ 290	223	2.24~ 13.4	6.4	0.72~ 1	0.88	8	122
Ⅲ	石英	4~ 10	5~ 15	145~ 260	204	3.39~ 9.98	5.8	0.84~ 0.95	0.9	3	47
	石英	4~ 8	5~ 20	138~ 272	196	3.55~ 7.17	6	0.91~ 0.94	0.92	1	12
	石英	6~ 20	10~ 15	160~ 235	215	3.87~ 7.86	4.9	0.85~ 0.94	0.88	3	29
总体				138~ 272	208	3.39~ 9.98	5.6	0.84~ 0.95	0.9	7	88

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

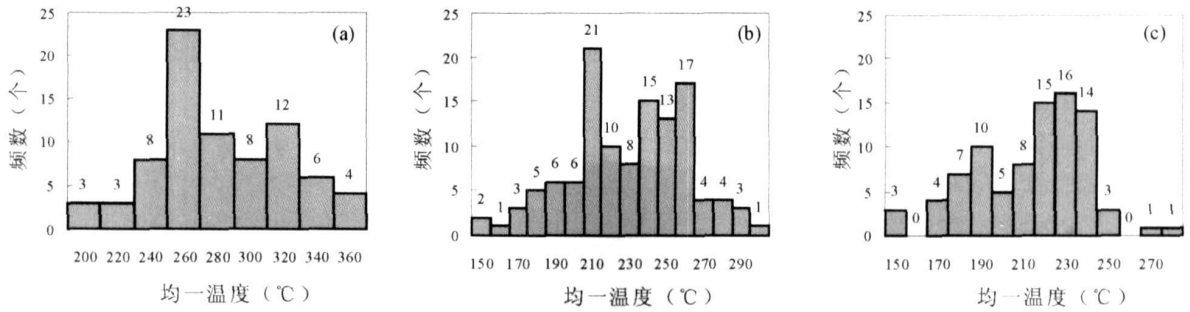


图 3　土外山金矿床流体包裹体均一温度直方图

Fig. 3　Histograms of homogenization temperature of fluid inclusion in the Tuwaishan gold deposit

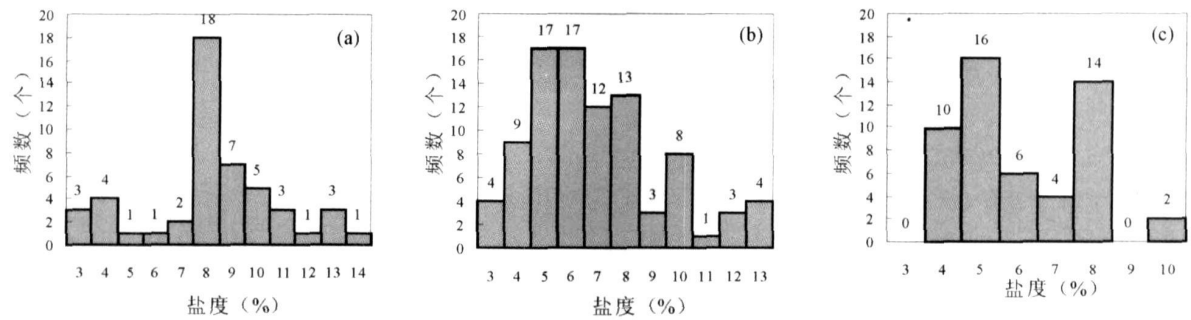


图 4　土外山金矿床流体包裹体盐度直方图

Fig. 4　Histograms of saliniy of fluid inclusion in the Tuwaishan gold deposit

直径一般为 4~ 10μm, 气液比一般为 10% ~ 15% 。均一温度和冰点温度变化不大。均一温度在 180~ 360℃之间, 主要为 240~ 320℃(图 3a) , 冰点温度主要介于- 4~ - 7℃之间; 利用 Hall 等(1988) 的盐度计算公式: $w = 0.00 + 1.78t^2m + 0.000557 1.78t^3m$, 可得对应的盐度为 2. 24% ~ 13. 4% , 主要介于 8% ~ 10% 之间(图 4a) ; 根据温度-盐度-密度相图获得密度为: 0. 75~ 0. 92g/ m^3, 主要介于 0. 82~ 0. 88 g/ m^3之间。

(2) 石英-多金属硫化物-自然金阶段: 在主矿化阶段石英流体包裹体的种类相对比较简单, 一般为气液包裹体, 气液比比较一致, 未见含 CO_2 包裹体。包裹体体积相对较小, 形态各异。所测试的 8 件石英样品 122 个原生包裹体的均一温度为 140~ 290℃, 主要为 210~ 260℃(图 3b) , 均一到液相; 冰点温度为- 2~ - 9℃, 主要在- 3~ - 6℃之间; 盐度为 2. 9% ~ 10. 73% , 主要介于 4% ~ 8% 之间(图 4b) ; 密度为: 0. 75~ 1. 00g/ m^3, 主要介于 0. 84~ 0. 93 g/ m^3之间。

(3) 石英-方解石阶段: 晚阶段的石英, 与第一二阶段石英相比, 由于受构造作用比较小, 自形程度比较高, 包裹体体积相对较大, 气液比比较高, 含有少量的富气相包裹体, 形态为椭圆状、规则状以及不规则状。所测试的七件样品 88 个原生包裹体的均一温度为 138~ 272℃, 主要为 180~ 240℃(图 3c) , 均一为液相; 冰点温度为- 1. 9~ - 6. 5℃, 主要在- 2~ - 5℃之间; 对应的盐度为 3. 39% ~ 9. 98% , 主要介于 3% ~ 8% 之间(图 4c) ; 密度为: 0. 85~ 0. 97g/ m^3, 主要介于 0. 87~ 0. 94 g/ m^3之间。

显微测温结果显示原生气液两相包裹体的均一温度为 138~ 360 ℃, 主要峰值为 180~ 320 ℃, 盐度为 2. 24 %~ 13. 4 % , 主要介于 3% ~ 10% 之间, 表明土外山金矿床成矿作用高峰温度为 180~ 320 ℃, 流体盐度为 3% ~ 10% , 因此认为该地区成矿流体有中低温、低盐度的特点。

夏勇(1995) 报道了该地区流体包裹体的均一温度, 他的测温数据出现三个明显的峰值, 即 180~ 220℃, 240~ 250℃以及 300~ 310℃, 虽然它的测温数据没有分阶段进行, 但是他结合矿物学特征认为该地区成矿是一个降温过程, 即认为早、中、晚三个阶段的均一温度分别是 300~ 310℃, 240~ 250℃以及 180~ 220℃, 这与本文测得的结果, 即 280~ 320℃, 210~ 260℃, 180~ 240℃很接近。

3. 3　成分分析

侯威等(1996) 对戈枕剪切带部分矿床流体包裹

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

体成分进行了研究,表明成矿热液中液相成分以 Na^+, K^+, Cl^-, F^-, SO_4^{2-} 为主,这与本次研究所判断的流体成分一致。而土外山金矿矿石的 SO_4^{2-}/Cl^- 的值大于1,说明该矿带上成矿热液中有较高的 SO_4^{2-} 的值。SO_4^{2-} 较多说明 $(HS)^-$ 的存在,即认为金矿热液中金主要是以硫络合物的形式迁移的。

4 氢氧同位素分析

分析样品为不同成矿阶段的10件石英样品,氢、氧同位素测试在国土资源部成矿作用与资源评价重点开放实验室完成。氢同位素测试采用热爆裂法从样品中提取原生包裹体中的 H_2O,使之在400℃条件下与Zn反应制取 H_2,然后用质谱仪进行氢同位素测定,精度±2%;氧同位素测试采用常规 BrF_5 法,分析精度为±0.2%。测试仪器型号为MAT253EM 型质谱仪,并以SMOW 为标准。测试结果见表2。

表 2 土外山金矿氢氧同位素组成

Table 2 Hydrogen and oxygen isotopic composition of fluid inclusions in Tuwaishan gold deposit

样品号	样品名称	成矿阶段	$\delta^{18}O_{V\text{-}SMOW}$ (‰)	$\delta^{18}O_{水}$ (‰)	$\delta D_{V\text{-}SMOW}$ (‰)
2-4-B1	石英	Ⅰ	13	3.71	-74
2-4-B2	石英	Ⅰ	14.8	5.98	-80
2-4-B3	石英	Ⅰ	15	7.62	-85
2-4-A3	石英	Ⅱ	15.3	4.74	-87
3-A1	石英	Ⅱ	14.3	3.21	-81
3-A3	石英	Ⅱ	14.4	2.37	-74
3-A5	石英	Ⅱ	15	3.61	-73
3-A4	石英	Ⅲ	14.9	3.75	-76
2-4-C1	石英	Ⅲ	12.1	1.25	-75
2-4-C2	石英	Ⅲ	12.5	1.29	-68

测试者:罗续荣、万德芳。计算 $\delta^{18}O_{水}$‰的分馏方程为:$1000\ln\alpha_{石英-水}=3.38\times10^6T^{-2}-3.40$(Clayton et al., 1972)。

由表2可以看出,10个样品的 $\delta^{18}O$ 值变化范围是12.1‰~15.3‰,平均14.1‰;包裹体中水δD的值范围是-68‰~-87‰,平均-77‰。根据所测得的10件样品的流体包裹体的均一温度平均值,计算出与石英平衡的水的氧同位素为1.25‰~7.62‰,平均为3.75‰。其中第一阶段的三件样品中石英的 δD 的值为-74‰~-85‰,平均为-80‰,$\delta^{18}O_{水}$ 的值3.71‰~7.62‰,平均为5.77‰;第二个阶段的4件样品中石英的δD 的值为-73‰~-87‰,平均为-79‰,$\delta^{18}O_{水}$ 的值2.37‰~4.74‰,平均为3.5‰;第三个阶段的三件样品中石英的 δD 的值为-68‰~-76‰,平均为-73‰,$\delta^{18}O_{水}$的值1.25‰~3.75‰,平均为2.1‰。

氢氧同位素的数据显示(表2),三个成矿阶段中石英的 δD 的值分别为-74‰~-85‰,-73‰~-87‰,-68‰~-76‰;$\delta^{18}O_{水}$ 的值分别为3.71‰~7.62‰,2.37‰~4.74‰,1.25‰~3.75‰。将 δD 的测试值和 $\delta O_{水}$ 的计算值投点在 δD-$\delta^{18}O$ 的图解中(图5),我们可以看到投影点大多落在岩浆水下侧和大气降水之间的范围,并且从成矿早期向晚期逐渐向大气降水线靠近。这表明在成矿早期有岩浆水参与成矿,随着成矿作用的进行不断有大气降水加入,这与侯威等(1996)通过研究得出的结论相一致。

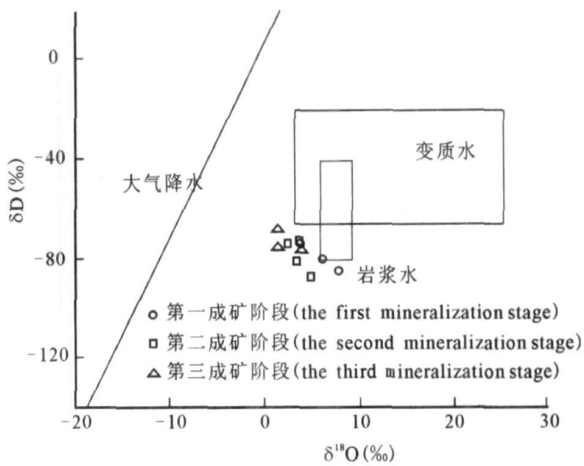


图5 土外山金矿床成矿流体 δD-$\delta^{18}O$ 图

Fig. 5 δD-$\delta^{18}O$ diagram of ore-forming fluid in the Tuwaishan gold deposit

夏勇(2002)通过对该剪切带金矿同位素地球化学的研究认为该剪切带金矿的成矿热源主要是混合岩化热液与大气降水的混合,而在抱板-土外山地区有岩浆热液参与成矿。

因此认为,土外山金矿的成矿流体是岩浆水与大气降水混合的产物。

5 讨论与结论

通过对土外山金矿流体包裹体和氢氧同位素的研究,得出以下结论:

(1) 土外山金矿床属于中低温(180~320℃)、低盐度(3%~10%)、低密度(0.75~1 g/m³)的 NaCl-H_2O 型热液体系。

(2) 在第Ⅰ阶段含有富液相包裹体、含 CO_2 三相包裹体、富气相包裹体,说明可能发生过沸腾作用,沸腾时气体逸出,形成含 CO_2 三相包裹体和富气

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

相包裹体。而在第二阶段以两相和富液相包裹体为主, 说明主成矿阶段有较多大气降水加入。

(3) 石英中流体水的 H、O 同位素组成和流体包裹体的显微测温结果表明, 成矿流体主要是以岩浆水和大气降水的混合为主, 并且随着成矿作用的进行, 温度和盐度呈规律性的下降。均一温度从第Ⅰ阶段 280~ 320℃, 降至第Ⅱ阶段的 180~ 240℃; 盐度从第Ⅰ阶段 8%~ 10%, 降至第Ⅱ阶段的 3%~ 8%。

(4) 通过对流体包裹体和同位素的结果分析认为, 在成矿早期, 土外山金矿床成矿流体主要来自高中温、高盐度性质的岩浆热液, 富含挥发性成分的深部流体向上运移, 随着成矿作用进行, 剪切带变形也不断发生变化, 从早期的韧性变形演变为脆-韧性变形, 在矿区形成大量的剪切裂隙, 流体在沿裂隙运移过程中不断与围岩发生反应, 萃取围岩中的成矿物质, 同时低温、低盐度的大气降水沿着裂隙混入, 流体逐渐变为中-低温、中-低盐度流体, 并使含矿热液系统的状态发生改变, 破坏溶液的化学平衡, 使得成矿物质在有利部位富集成矿。

致谢: 感谢金昌金矿的孟令库总经理, 陈锦荣总工程师, 马跃辉经理以及王树华工程师等人在野外期间的帮助。感谢中国地质大学流体包裹体实验室的诸老师和国土资源部成矿作用与资源评价重点开放实验室的罗老师和万老师在实验过程中给予的热心帮助。

参 考 文 献

陈柏林, 董法先, 李中坚. 1999. 韧性剪切带金矿成矿模式. 地质论评, 45(2): 186~ 192.

代军治, 毛景文, 谢桂青, 杨富全, 赵财胜. 2007. 辽西兰家沟钼矿床成矿流体特征及成因探讨. 矿床地质, 26(4): 443~ 454.

丁式江. 1994. 琼西戈枕断裂带构造演化与金矿化系列. 地质找矿论丛, 9(3): 1~ 8.

丁式江. 1995. 琼西戈枕侵入体的地质特征及其发现意义. 大地构造与成矿学, 19(4): 536~ 543.

郭晓东, 邢俊兵. 1997. 海南省东方县戈枕金矿带构造控矿特征探讨. 黄金地质, 3(2): 42~ 46.

何龙清, 余凤鸣, 刘国庆. 1996. 海南戈枕剪切带的构造变形与演化. 华南地质与矿产, 3: 46~ 53.

何绍勋, 段嘉瑞, 刘继顺, 等. 1996. 韧性剪切带与成矿. 北京: 地质出版社, 99~ 139.

候威, 陈慧芳, 等. 1996. 海南岛大地构造与金成矿学. 北京: 科学出版社, 1~ 221.

黄斌. 1995. 海南主要金矿类型的铅同位素特征及其地质意义. 地球化学, 24(4): 387~ 401.

江明贵, 路西坤. 2004. 海南西部戈枕金矿成矿带的矿床类型及成因. 桂林工学院学报, 24(4): 402~ 406.

刘斌, 段光贤. 1987. NaCl-H_2O 溶液包裹体的密度和等容式及其应用. 矿物学报, 7(4): 345~ 352.

毛景文, 李厚民, 王义天, 张长青, 王瑞廷. 2005. 地幔流体参与胶东金矿成矿作用的氢氧碳硫同位素证据. 地质学报, 79(6): 839~ 857.

毛景文, 赫英, 丁悌平. 2002. 胶东金矿形成期间地幔流体参与成矿过程的碳氧氢同位素证据. 矿床地质, 21(2): 121~ 128.

饶家光, 涂绍雄, 战明国, 陈好寿, 黄香定, 丁式江, 何圣华, 吴国爱. 1996. 海南岛西部戈枕金矿带的成矿演化——以二甲-不磨地区主要金矿床为例. 华南地质与矿产, 3: 12~ 22.

王可伏, 范蔚茗, 侯威, 陈惠芳, 梁新权. 1994. 海南岛土外山早元古代玄武岩的成因——主要元素、微量元素和 Sm-Nd 同位素证据. 地质与勘探, 30(4): 30~ 36.

王义天, 毛景文, 叶安旺, 叶会寿, 李永峰, 卢欣祥, 李永革. 2005. 小秦岭地区中深部含金石英脉的同位素地球化学特征及其意义. 矿床地质, 25(3): 370~ 379.

吴学益, 杨元根. 1997. 琼西戈枕断裂带多因复成金矿成矿特征. 大地构造与成矿学, 21(3): 189~ 196.

夏勇. 1994. 琼西戈枕剪切带中成矿流体演化与金成矿. 大地构造与成矿学, 20(3): 220~ 228.

夏勇. 吴学益, 杨元根. 1995. 琼西戈枕剪切带金矿成矿流体包裹体研究. 地球化学, 24(增刊): 160~ 167.

夏勇. 2002. 琼西戈枕剪切带金矿同位素地球化学. 贵州工业大学学报, 31(1): 18~ 23.

肖力, 周遗军. 1998. 海南戈枕金矿带构造控矿及其成矿特征. 黄金地质, 4(3): 22~ 26.

肖力, 李念凤, 周遗军. 1999. 海南戈枕金矿带构造岩特征与金矿化. 黄金地质, 5(2): 21~ 26.

肖力, 周遗军, 邹依林. 1999. 海南戈枕金矿床剪切成矿模式研究. 矿产与地质, 13(71): 148~ 152.

肖志峰, 欧阳自远, 卢焕章. 1994. 海南抱板金矿田流体包裹体地球化学研究. 矿床地质, 13(2): 172~ 180.

许德如. 1999. 海南岛戈枕金矿带煌斑岩的岩石地球化学研究. 大地构造与成矿学, 23(4): 353~ 360.

杨元根, 王子江, 吴为民, 金志升, 张国平. 1997. 海南二甲金矿戈枕韧性剪切带的构造地球化学研究. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 23(5): 499~ 504.

余凤鸣, 刘国庆, 何龙清. 1995. 海南戈枕韧性剪切带微观构造研究. 地球学报, 3: 262~ 274.

战明国, 张树淮, 刘国庆. 1996. 海南岛西部戈枕含金剪切带及其金矿成矿系列. 矿床地质, 15(4): 289~ 296.

张作衡, 毛景文, 王勇. 2004. 西秦岭中川地区金矿床流体包裹体特征及地质意义. 岩石矿物学杂志, 23(2): 147~ 157.

赵财胜, 孙丰月, 毛景文, 丁清峰, 赵俊伟, 李世金. 2005. 青海大场金矿床流体包裹体特征及其地质意义. 矿床地质, 24(3): 305~ 316.

Bondar R T, Vytik M O. 1994. Interpertation of microthermometric data for H_2O-NaCl fluid inclusions. In: Vivo B D, Frezotti M L, Editors, 1994. Fluid Inclusions in Minerals Methods and Applications, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, 117~ 130.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Sterner S M, Bodnar R J. 1984. Synthetic fluid inclusions in natural quartz I compositional types synthesized and applications to experimental geochemistry. Gerchm. Cosmochim. Acta, 48: 2659~ 2668.

Characteristics of Fluid Inclusion in the Tuwaishan Gold Deposit, Hainan Province and Their Geological Significances

YANG Guoqiang[1)], MAO Jingwen[1,2)], LÜ Linsu[1)], LIU Jun[1)], YANG Jing[3)]

1) *China University of Geosciences, Beijing*, 100083; 2) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*, 100037; 3) *Chang'an University, Xi'an*, 710064

Abstract

The Tuwaishan gold deposit is located in the North-East part of the Gezhen auriferous shear zone in western Hainan province. It belongs to fragmentary altered rock gold deposit. The ore bodies occur mainly in migmatite in the hanging wall of shear zone. The study of fluid inclusion shows that quartz contains a great deal of primary fluid inclusions, i.e., pure aqueous phase inclusion(Ⅰ), aqueous two-phase inclusion(Ⅱ), CO_2-bearing three phase inclusion(Ⅲ) and pure CO_2 inclusion(Ⅳ), with more than 70% of the fluid inclusion belonging to type(Ⅱ). The ore-forming fluid belongs to NaCl-H_2O type charactered by low-moderate temperature, low salinity and low density. The homogenization temperature of the three mineralization stages are 240~ 320℃, 210~ 260℃, 180~ 240℃; the salinity are 8%~ 10%, 4%~ 8%, 3%~ 8%, respectively, suggesting characteristics of low-meso temperatures and low salinity. The study of hydrogen and oxygen isotopic shows that the ore-forming fluid of Tuwaishan gold deposit were mainly derived from magmatic water and mixed with meteoric water. The increasing involvement of meteoric water resulted in falling of ore-forming temperature and salinity gradually.

Key words: gold deposit, fluid inclusion, geological significance, Tuwaishan, Hainan province

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net