

# 海南抱板金矿田流体包裹体 地球化学研究

肖志峰 欧阳自远

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳)

卢焕章 Janyata Guha

(Universite du Quebec a Chicoutimi, Chicoutimi, PQ, Canada)

**提 要:** 对海南抱板金矿田的土外山、抱板和二甲等三个金矿进行的流体包裹体研究表明成矿流体为低盐度 (0.1~6wt% NaCl)、中低温 (200~240℃) 热液, 处于中低压力 (60~160 MPa) 下, 其 CO<sub>2</sub> 含量较低。探针质谱分析表明流体包裹体中存在 H<sub>2</sub>S, 结合 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的存在, 金在热液中可能是以硫氢络合物的形式迁移的。

**主题词** 流体包裹体 金矿田 海南抱板

海南抱板金矿田位于海南岛北西部的东方县和昌江县境内, 由土外山、抱板和二甲三个金矿床构成。该矿田自发现以来, 曾有不少人对其进行过研究, 如冯连顺 (1988)<sup>[4]</sup>、俞受璠等 (1988)<sup>[2]</sup>、肖志峰 (1989)、梁新权等 (1989)、杨元根 (1990), 但对金矿脉中的流体包裹体的研究不够系统。本次工作主要对金矿脉中的流体包裹体进行研究, 除采用常规的冷热台, 还利用了较先进的探针质谱分析气体成分。

## 1 地质概况

矿区内主要有抱板群的混合岩和南碧沟群的变质岩出露。抱板群原岩形成于前寒武纪, 混合岩化时间可能发生于相当于海西早期 (俞受璠等, 1988)<sup>[2]</sup>。

矿区内, 南碧沟群的变质岩主要分布在矿区南东部, 由浅变质的白云母石英片岩, 碳质泥质片岩等组成。抱板群由混合岩、斜长角闪片麻岩和白云母石英片岩组成, 分布在矿区的北西部, 它与南碧沟群之间大体以戈枕断裂为界。抱板群的混合岩大部分已糜棱岩化, 可分出条带状糜棱岩和眼球状糜棱岩。作为混合岩化残留体的斜长角闪片麻岩和白云母石英片岩在混合岩中呈透镜状分布。

矿区内主要构造是北东向的戈枕断裂, 其地表走向北东 30°~35°, 倾向北西, 倾角 70°~80°。该断裂具有多期活动性, 为脆韧性叠加剪切带 (梁新权等, 1989)<sup>[5]</sup>。金矿床的分布受该剪切带的控制 (图1)。

肖志峰, 28岁, 助理研究员, 地球化学专业, 邮政编码: 550002  
1993-4-21收稿件, 1993-8-21修改回

矿区内主要有中基性脉岩,如闪长玢岩和辉长岩脉等侵入,闪长玢岩与矿体关系密切。在矿区外围有大规模的海西-印支期儋县花岗岩出露,其次为规模较小的燕山期黑岭-三狮岭花岗岩。儋县花岗岩是壳源型花岗岩,具多期活动性,从海西到燕山期都有活动。

土外山、抱板和二甲三个金矿床地质特征十分类似,其分布受戈枕断裂控制,矿床产于戈枕断裂上盘的糜棱岩中,主要赋矿围岩为糜棱岩化的混合岩。矿体产于糜棱岩化混合岩中,与围岩没有明显的界线,形态简单,呈单一脉体或透镜体状。矿石成分比较简单,以石英、黄铁矿、毒砂、自然金为主。主要围岩蚀变是硅化、绢云母化、绿泥石化、碳酸盐化。金矿的形成可分为三个阶段:①石英-黄铁矿-毒砂阶段;②多金属硫化物-自然金阶段;③方解石-石英阶段。

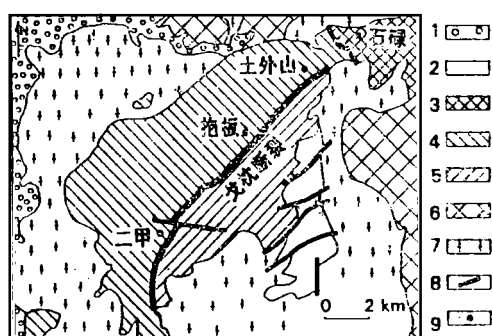


图1 抱板金矿田地质略图

1—第四系; 2—中生代地层; 3—石碌群; 4—抱板群;  
5—南碧沟群; 6—黑岭岩体; 7—儋县花岗岩; 8—断层;  
9—金矿床

Fig. 1. Diagrammatic geological map of the Baoban gold ore field.

1—Quaternary; 2—Mesozoic strata; 3—Shilu Group;  
4—Baoban Group; 5—Nanbigou Group; 6—Heiling intrusive; 7—Danxian granite; 8—Fault; 9—Gold deposit.

## 2 成矿流体包裹体研究

### 2.1 研究方法

因金矿石英脉中包裹体小,而且金矿成矿具多期多阶段的特点,区分不同期次的包裹体较为困难,采用同时制备岩石薄片和包裹体片的办法克服这一困难,即在制包裹体片的同时,在同一位置切制岩石薄片。这样可以在镜下用岩石薄片观察鉴定矿物,判断矿物的成矿期,再在包裹体片上找到相应的矿物,利用矿物与包裹体的关系确定包裹体所属的成矿期次。

加热和冷冻实验是在美国地调所改进型冷热台上进行的。实验方法严格按照 Rosdler (1984) 的描述<sup>[12]</sup>。实验开始之前,三种人工合成包裹体:  $H_2O-CO_2$  包裹体 ( $-56.6^\circ C$ )、 $NaCl-H_2O$  包裹体 ( $-20.8^\circ C$ ) 和  $H_2O$  包裹体 ( $0^\circ C$ ) 被用于校正冷热台。

### 2.2 包裹体岩相学

(1) 包裹体分类及其特点: 依据镜下鉴定结合冷热台研究,可分出三类包裹体: ①气液包裹体; ②  $H_2O-CO_2$  包裹体; ③单液相包裹体。包裹体以三种形式存在: ①沿愈合的裂隙线状分布; ②呈不规则的群状分布; ③沿石英的重结晶边界分布。这三类包裹体常常共存于同一裂隙或同一微区中,应属同时形成。

三类包裹体的特点可简述如下:

气液包裹体:  $6\sim 12\mu m$ , 气液比  $15\%\sim 30\%$ , 分布最为广泛。常温下有两相存在,富水的液相和富气体 ( $CO_2?$ ) 的气相。无子矿物存在。

$H_2O-CO_2$  包裹体:  $6\sim 12\mu m$ , 室温下一般呈两相,富  $CO_2$  的气相和水溶液相,偶尔呈三

相存在, 出现液相 $\text{CO}_2$ 。 $\text{CO}_2$ 的体积比为20%~80%, 多数为40%~60%。即使在同一裂隙或同一群内, 其气液比变化也很大。该类包裹体中无子矿物存在, 仅在金的主成矿阶段分布。

单液相包裹体: 较少, 3~8  $\mu\text{m}$ , 常温下仅由水溶液组成, 无气泡。冷冻时, 有气泡出现。主要分布在第一、二阶段的石英脉中。

(2) 包裹体与金矿化的关系: 虽然在本区金矿中存在自然金(李桂兴等, 1988)<sup>[7]</sup>, 但本次工作未能发现自然金, 故用硫化物与包裹体的关系来确定包裹体所代表的成矿期次。采用以下两条标准判断包裹体与成矿流体的关系: A. 以包裹体形式存在于硫化物中的石英颗粒, 其所含的包裹体应与包裹石英的硫化物同期形成, 可代表该期成矿流体; B. 变形或重结晶的石英所含的次生包裹体, 当它们与后期硫化物分布于同一条裂隙时, 则认为包裹体与硫化物同期形成。

(3) 包裹体在矿床中的分布及与成矿阶段的关系: 包裹体在三个矿床中的分布略有差异。在土外山金矿中, 包裹体比较小, 3~9  $\mu\text{m}$ , 多数为3~6  $\mu\text{m}$ 。以气液包裹体和单液相包裹体为主,  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 包裹体稀少; 在抱板金矿中, 包裹体较土外山大, 约为3~15  $\mu\text{m}$ , 多为6~9  $\mu\text{m}$ , 气液包裹体最多,  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 包裹体较土外山多, 但单液相包裹体少; 在二甲, 包裹体的分布与抱板类似, 但 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 包裹体更多。

在不同的成矿阶段, 包裹体的分布也各具特点。在黄铁矿-石英阶段, 包裹体小, 6~9  $\mu\text{m}$ , 仅有单液相包裹体和气液包裹体。在多金属硫化物-石英阶段, 包裹体比第一阶段的大, 而且三类包裹体都有分布, 仍以气液包裹体最多, 其次为单液相包裹体,  $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 包裹体最少。在石英-方解石阶段, 其包裹体最大, 最大可达30~45  $\mu\text{m}$ , 有气液包裹体和单液相包裹体, 缺乏 $\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 包裹体。

### 2.3 包裹体测温学

选择适宜于冷冻-加热实验的包裹体进行实验, 三类包裹体在实验过程中的行为简述如下:

气液包裹体: 其始熔温度为-20~-52  $^{\circ}\text{C}$  (图2), 结合成分分析, 可能属于 $\text{CaCl}_2-\text{H}_2\text{O}$ 体系。其盐度变化于0.5~6 wt% NaCl eq. 之间 (图3)。均一温度为120~240  $^{\circ}\text{C}$ , 集中于180  $^{\circ}\text{C}$ 。

$\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 包裹体: 因包裹体较少, 不易找到合适的包裹体。在一些细小的包裹体中,

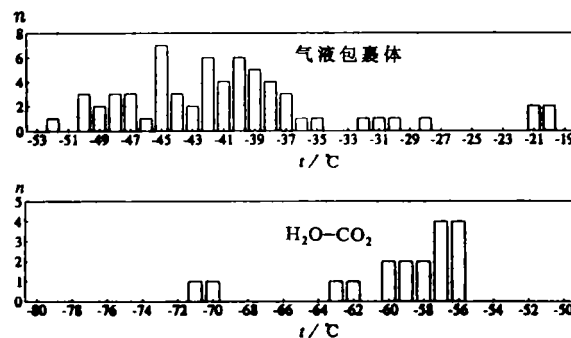


图2 矿脉中包裹体冷冻时始熔温度

Fig. 2. Initial melting temperature of inclusions in ore veins during freezing.

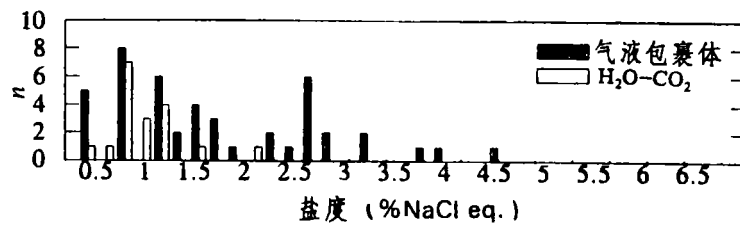


图 3 成矿流体盐度

Fig. 3. Salinity of ore-forming fluids.

CO<sub>2</sub> 的均一现象不易观察, 在这种情况下, 采用气泡停止移动时的温度代表 CO<sub>2</sub> 的均一温度 (Roedder, 1984)。气相的始熔温度为 -71~-56.8 °C (图 2), 表明气体为 CO<sub>2</sub>, 可能还有少量 CH<sub>4</sub>, 盐度较低, 0.5~3 wt% NaCl eq. (图 3)。均一温度为 120~320 °C, 集中于 280 °C。

单液相包裹体: 这些在室温下仅有一相的包裹体, 当冷冻到低温时, 会出现一个小气泡, 加热时, 气泡在低于室温或略高于室温时消失。

包裹体均一温度随成矿阶段不同而有变化: 第一阶段均一温度峰值为 160~170 °C; 第二阶段为 200~240 °C; 第三阶段为 150 °C (图 4)。比较三个矿床在第二阶段的均一温度, 土外山为 250 °C, 抱板为 230 °C, 二甲 220~280 °C, 略有差别。

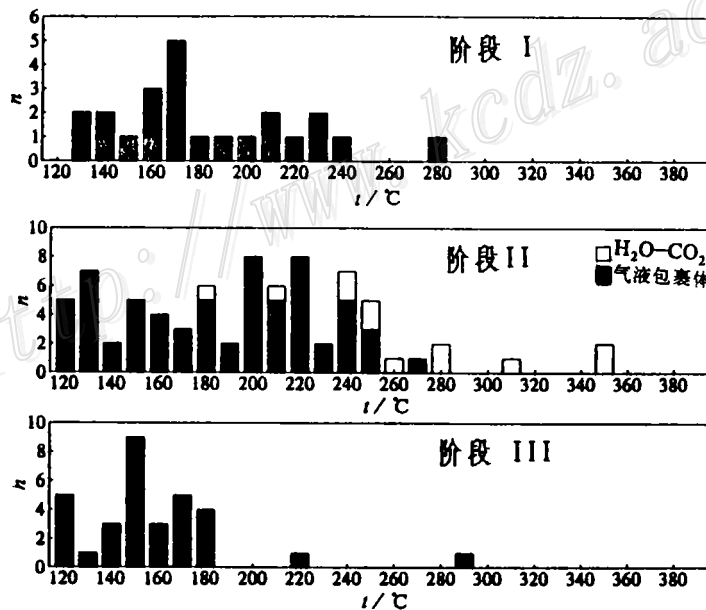


图 4 不同矿化阶段流体包裹体均一温度

Fig. 4. Homogenization temperature of fluid inclusions at different mineralization stages.

成矿流体压力问题一直没有得到很好的解决 (Roedder and Bondar, 1980, Roedder, 1984)<sup>[12]</sup>。由于未能找到确定无疑的 H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> 包裹体与气液包裹体共生, 我们采用包体测温数据, 利用两种计算方法确定成矿流体的压力: ①直接利用 H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> 包裹体测温数据由状态

方程计算出成矿流体压力；②利用H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>包裹体与水溶液包裹体等容线的交点。这两种方法求得的成矿流体压力都在60~160 MPa之间。因此，成矿流体的压力可能为60~160 MPa。

#### 2.4 成分分析

采用两种方法分析：一种系国内流行的色谱分析，分析液体成分；另一则是较先进的探针质谱分析，分析气体成分。探针质谱分析也是一种群分析方法，区别于一般群分析方法的是：①所需样品量少，仅一小块常规包体片碎片就足以分析其成分，在显微镜下挑选出属于某一成矿阶段的石英，切除其它部分，分析其中的包体，解决了多阶段流体包体叠加的问题；②分析过程中，爆裂后释放的气体直接进入质谱，排除了其它干扰，提高了分析精度。

(1) 气体成分的质谱分析：探针质谱分析是在加拿大 Universite du Quebec a Chicoutimi 地质系进行的，分析流程见Guha等(1990)<sup>[9]</sup>。分析结果表明(表1)，包裹体气体成分主要为CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、CO、CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>S等气体，其中H<sub>2</sub>S气体仅存在于第一、二阶段，CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O摩尔比值相当低，约为0.08左右。与加拿大 Abitibi 金矿带金矿相比，低于 Sigma 等金矿，与 Tadd 相当 (Guha et. al, 1991)<sup>[10]</sup>。

表 1 抱板金矿田包裹体气体成分质谱探针分析 (mol%)

Table 1. Gas composition of fluid inclusions in the Baoban gold field (mol %)

矿床	成矿阶段	样品号	气 体 成 分					
			CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	CO	H <sub>2</sub> S	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O
土外山	I	T-48	3.2	85.1	3.0	0.7	8.1	0.095
土外山	II	T-155	3.6	75.7	9.9	0.8	9.9	0.131
抱板	II	B-276	1.9	81.3	10.9	1.3	4.6	0.056
二甲	II	90-33	4.1	85.0	3.2	0.1	7.6	0.089
抱板	III	90-60	1.8	92.2	3.5		2.5	0.027

由质谱分析确定的气体成分，假设包裹体中CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>和O<sub>2</sub>达到平衡，则用CH<sub>4</sub>+2O<sub>2</sub>=CO<sub>2</sub>+2H<sub>2</sub>O及均一温度求出氧逸度，计算结果为logf<sub>O<sub>2</sub></sub> = -40。

与已有的探针质谱分析资料对比，发现H<sub>2</sub>S的含量还可能与矿床类型有关。在石英脉型金矿中，H<sub>2</sub>S含量较低，而在蚀变岩型金矿中，其含量较高，如在加拿大Abitibi的石英脉型金矿 Sigma 和 Norbeau，其H<sub>2</sub>S平均含量分别为0.045mol%和0.069mol%，而蚀变岩型的Tadd金矿，H<sub>2</sub>S平均含量为0.43mol% (Guha等，1991)<sup>[10]</sup>，作为蚀变岩型本区金矿的H<sub>2</sub>S平均含量为0.58mol%。因此，H<sub>2</sub>S的含量也许可作为区别金矿类型的一个标志。

(2) 液相成分：色谱分析主要用于包裹体液相成分分析，分析结果(表2)显示成矿流体中阴离子主要有F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，F<sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup>(摩尔数比)平均为0.9。阳离子主要是Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>等，其中Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>(摩尔数比)平均为1.37。与其他金矿相比，本区金矿成矿流体特征与广东新洲金矿和大气降水热液成因的牟乳金矿带金矿相似(图5)(涂绍雄，1989，杨忠芳等，1991)，暗示本区金矿的成因可能与大气降水有关(肖志峰和程景平，1992)。

表 2 包裹体液体成分的色谱分析 (单位:  $\mu\text{mol}$ )  
Table 2. Liquid composition of fluid inclusions ( $\mu\text{mol}$ )

样品编号	阴 离 子				阳 离 子					
	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	F <sup>-</sup> /Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>	
土 外 山	T-35	0.1321	0.1152	0.5147	1.1466	0.347	0.6887	0.1168	0.1142	0.5038
	T-54	0.1174	0.231	0.3828	0.5081	0.3617	0.5492	0.183	0.0358	0.6586
	T-56	0.0932	0.0721	0.2548	1.2918	0.2443	0.3359	0.0713	0.0213	0.7274
	平均	0.1142	0.1394	0.3841	0.9822	0.3177	0.5246	0.1237	0.0571	0.6299
抱 板	B-249	0.1816	0.2276	0.0371	0.7978	0.3648	0.1456	0.1375	0.2	2.5047
	B-270	0.1395	0.14	0.3004	0.9962	0.313	0.4933	0.1145	0.0288	0.6345
	平均	0.1605	0.1838	0.1688	0.897	0.3389	0.3195	0.126	0.0244	1.5696
二① 甲	Q9-1	0.0421	0.0839	0.0601	0.5016	0.0535	0.0987	0.0573	0.0033	0.5417
	C1-7	0.1184	0.1989	0.0343	0.5955	0.067	0.0687	0.0375	0.0138	0.9744
	Q4	0.0605	0.1318	0.02	0.4591	0.2039	0.0592	0.0458	0.0042	3.4427
	Q3-1	0.0542	0.0659	0.016	0.8224	0.117	0.0346	0.0485	0.0029	3.3787
	V17-9-6	0.0453	0.0659	0.2244	0.6867	0.1974	0.3008	0.0515	0.0203	0.6563
	V11-1-d	0.1034	0.1107	0.0704	0.9794	0.0578	0.0526	0.032	0.0088	1.1001
	平均	0.0715	0.1095	0.0709	0.6741	0.1161	0.1024	0.0454	0.0098	1.6823

①杨元根, 1990, 海南二甲金矿成矿机理的初步研究, 贵阳地化所硕士论文  
分析者: 中南工业大学分析中心刁培良

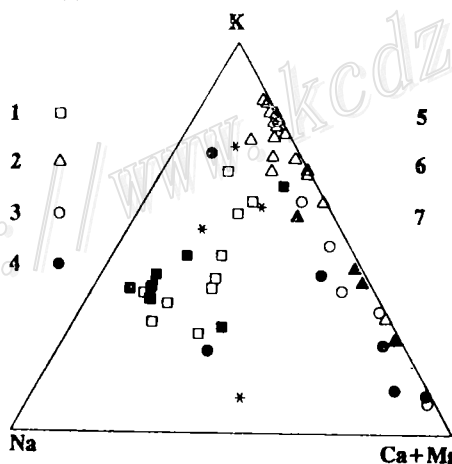


图 5 一些金矿包裹体Na-K-Ca+Mg三角图解

1—抱板; 2—Sigma; 3—改造型; 4—蓬栖; 5—牟乳; 6—招掖; 7—新洲

Fig. 5. Na-K-Ca+Mg diagram of inclusions in some gold deposits.

1—Baoban; 2—Sigma; 3—Transformation type; 4—Pengqi; 5—Muru; 6—Zhaoye; 7—Xinzhou.

### 3 讨论和结论

#### 3.1 单相流体包裹体的存在及其意义

在本区金矿中, 单相流体包裹体比较普遍地存在于石英脉中, 与其他包裹体共生, 它在金矿中的存在具有特殊的指示意义 (Roedder, 1984)<sup>[12]</sup>。依 Roedder(1984, 1987)<sup>[11,12]</sup>, 单相流体包裹体可能形成于负压环境, 代表一种亚稳平衡。联系前面对其他两类包裹体压力

的研究, 这两类包裹体形成时压力约为 60~160MPa, 则单相流体包裹体与其他包裹体的共生表明成矿时流体的压力是变化的。Sisboson (1988) 提出金矿形成的断层阀模式<sup>[14]</sup>, 认为金矿形成时其压力是周期性变化的, 由早期的破裂旋回到晚期的排放阶段, 其压力呈现高压→负压→高压的旋回。本区金矿中单相流体包裹体与其他包裹体的共存可能是这种旋回的一种表现, 但需要进一步工作证实。

### 3.2 成矿热液中金的迁移形式

在金矿的研究中, 虽然早就发现金可能是以硫氢络合物的形式迁移(Seward, 1973)<sup>[13]</sup>, 但在含金石英脉的流体包裹体成分分析中只有  $\text{SO}_4^{2-}$  的存在, 并未发现其它硫离子。探针质谱分析证实了  $\text{H}_2\text{S}$  在含金石英脉流体包裹体中的存在, 表明在成矿流体中存在还原硫。而对流体包裹体进行的色谱分析表明在其液相中存在  $\text{SO}_4^{2-}$ , 考虑硫的络合平衡, 则在液相中应有  $\text{HS}^-$  离子存在。因此,  $\text{H}_2\text{S}$  在包裹体中的存在表明金在成矿流体中是以硫氢络合物的形式迁移的。

从以上研究, 可归纳出几点结论:

(1) 对抱板金矿田三个金矿床的含金石英脉中的石英所进行的流体包裹体研究表明, 金矿成矿热液为中-低温、中低压的低盐度热液, 氧逸度为  $\log f_{\text{O}_2} = -40$ , 处于还原环境。

(2) 成矿流体中  $\text{CO}_2$  的含量较低, 液相中阴离子以  $\text{F}^-$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  为主, 阳离子以  $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  为主, 这种特征与大气降水热液成因的成矿带矿床的流体类似。

(3)  $\text{H}_2\text{S}$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  在流体包裹体中同时存在, 表明在其热液中存在  $\text{HS}^-$ , 金可能是以硫氢络合物的形式迁移的。

### 参 考 文 献

- 1 王秀璋等. 改造成矿作用及改造型金矿床. 见: 第三届矿物岩石地球化学学术交流会会议论文摘要汇编. 重庆: 重庆科技文献出版社, 1988. 13~14
- 2 俞爱盛, 许垂武. 海南抱板金矿地球化学特征及其成因讨论. 见: 第三届矿物岩石地球化学学术交流会会议论文摘要. 重庆: 重庆科技文献出版社, 1988. 0~181
- 3 李桂兴, 赵吉良. 海南东方抱板金矿金的赋存状态. 见: 第三届矿物岩石地球化学学术交流会会议论文摘要. 重庆: 重庆科技文献出版社, 1988. 182~183
- 4 冯连顺. 海南抱板金矿床同位素地质初步研究. 贵金属地质, 1988, (3~4): 233~239
- 5 梁新权, 侯威, 陈慧芳. 海南岛戈枕脆-韧性叠加剪切带基本特征及成矿意义. 大地构造与成矿学, 1990, 14: 255~265
- 6 卢焕章等. 包裹体地球化学. 北京: 地质出版社, 1990.
- 7 涂绍雄, 高艳君. 广东新州金矿流体包裹体和稳定同位素研究. 地质论评, 1990, 36(3): 200~209
- 8 杨忠芳, 徐景奎, 赵伦山. 胶东两大成因系列金矿床石英包裹体氢氧同位素及成矿流体组成地球化学研究. 矿物学报, 1991, 11: 363~369
- 9 Guha J. et al. Gas composition of fluid inclusions using solid probe mass spectrometry and its application to study of mineralizing process. *Geochemica et Cosmochemica Acta*, 1990, 54: 553~558
- 10 Guha J et al. Fluid characteristics of vein and altered wall rock in Archean mesothermal gold deposits. *Econ. Geol* 1991, 86: 667~684
- 11 Robbert F, Kelly W C. Ore-forming fluid in Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma mine, Abitibi greenstone belt, Quebec, Canada. *Econ. Geol*, 1987, 82: 1464~1482
- 12 Roedder E Fluid Inclusions. *Rev. Mineralogy*, 1984, 12: 644p

- 13 Seward T M. Thio complex of gold in hydrothermal ore solutions. *Geochemica et Cosmochemica Acta*, 1973, 37: 379~399
- 14 Sisbosen R H. High angle faults, fluid pressure cycling and mesothermal gold-quartz deposits. *Geology*, 1988, 16: 551~555

## FLUID INCLUSION GEOCHEMICAL STUDY ON THE BAOBAN GOLD FIELD, HAINAN ISLAND, SOUTH CHINA

Xiao Zhifeng and Ouyang Ziyuan

(*Institute of Geochemistry, Academia Sinica, Guiyang 550002*)

Lu Huangzhang and Janyata Guha

(*Universite du Quebec a Chicoutimi, Chicoutimi, PQ, Canada*)

**Key words:** Fluid inclusion, geochemistry, gold field, Hainan Island

### Abstract

The Baoban gold field, located in Hainan Island, South China, consists of three gold deposits, namely, Tuwaishan, Baoban, and Erjia. These three gold deposits are very similar in geological characteristics and all belong to wall-rock alteration type. Three mineralization stages can be recognized: (1) quartz-pyrite-arsenopyrite stage; (2) polymetallic sulfide-gold stage; (3) quartz-calcite stage.

Fluid inclusions can be divided into three composition types by their appearance and their cooling and heating behavior: (1) aqueous fluid inclusions; (2) H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> fluid inclusions and (3) single-phase fluid inclusions. The microthermometric experiments were undertaken on an improved fluid inclusion stage of the U.S. Geological Survey. The salinity of the fluid is about 0.2%~6% NaCl wt eq. The homogenization temperature is about 200 to 240°C, but varies with mineralization stages: 160~170°C at Stage I, 200~240°C at Stage II, and 150°C at Stage III. The pressure of the ore-forming fluid is about (60~160 MPa).

The main gas components of the fluid inclusions are CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO, CH<sub>4</sub> and H<sub>2</sub>S as determined by solid-probe mass spectrometric analysis. A comparison with other gold deposits shows that there may exist relations between gold deposit types and content of gaseous H<sub>2</sub>S. The content of gaseous H<sub>2</sub>S in gold deposits of the gold-quartz vein type is lower than that in the wall-rock alteration type. Using the equation  $CH_4 + 2 O_2 = CO_2 + 2 H_2O$  and the gas composition, it is estimated that the oxygen fugacity is about  $10^{-40}$ .

Chromatographic analysis shows that the major anions in the fluid inclusions are F<sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, while the major cations are Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>. When chemical equilibrium is considered, the coexistence of H<sub>2</sub>S in gaseous phase and



$\text{SO}_4^{2-}$  in liquid phase and the reduction environment of the fluid ( $f_{\text{O}_2}=10^{-40}$ ) imply that there exists  $\text{HS}^-$  in the fluid, and that gold in this fluid can easily form  $\text{Au}(\text{HS})_2^-$  and might be transported as  $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ . It can be therefore concluded that the ore-forming fluid in this gold field is a low-medium salinity (0.2~6 NaCl wt% eq.), low-medium temperature (200~240°C) hydrothermal fluid with low-medium pressure (60~160 MPa), with gold probably transported in the form of  $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ .

(上接第171页)

经系统工作后发现,宽缓褶皱的局部发育有层间断裂、虚脱、网裂、破碎、角砾等,尤其是这些破碎带和韧(钙质)、脆(硅质)性不同岩石组合的层间底辟穿刺构造耦合在一起,同时进一步又发现这些现象是层间突发的不协调褶皱(disharmonic fold)构造造成的,并且受同生长断裂(growth fault)运动的推移而被镶嵌在抗渗透的泥质岩石下部,从而形成一个典型的“异常成矿构造体”。此外,该矿床是单一的铋矿床,通过对其矿石溶解度实验,证明其在弱碱性、低温热水中具有较大溶解度和稳定搬运能力。因此认为其无论在何种流体介质和一般地球化学动力机制下,都易于在上述典型“异常成矿构造体”中发生巨大的金属堆积。

3. 在长江中下游九瑞地区,通过矿床矿物共生和矿物共生组合的矿物学研究,发现该区有八组矿物共生序列和四次与成矿有关的地质事件,从而反映该区成矿作用在非平衡态演化中出现五次相对平衡态的连续演化,每次相对平衡态都分别代表一次成矿物理化学条件的平衡,相应地形成了由早期到晚期的胶黄铁块状硫化物型→矽卡岩型→斑岩型→爆发角砾岩型→石英脉或热水堆积型“多位一体”的成矿综合体。它是“异常成矿构造体”综合控矿的结果,也可用宏观的成矿振荡和混沌相间的地球化学动力学实验结果解释的。

最后应该提出的是,特大型矿床成矿偏在性的研究内容是很多的,但主要应研究:①特大型矿床巨大金属堆积环境和成因;②特大型矿床“异常成矿构造体”的形成、演化与控矿规律;③特大型矿床形成的非平衡态—相对平衡态的地球化学动力学;④特大型矿床成矿趋向和轨迹。

在研究上述主要内容时,应特别强调控矿因素异常组合关系的研究,即重视成矿构造的协调与不协调的演化机制;容矿岩石组合的有序与无序的组合形式;矿床矿物共生和矿物共生组合的线性与非线性关系和成矿地球化学演化稳定与混沌的动力学机制。

### 参 考 文 献

- 1 庄锦良. 锡矿山铋矿地质特征及成因探讨. 岩相古地理文集. 北京: 地质出版社, 1987.
- 2 裴荣富, 吴良士. 我国开展超大型矿床若干基础研究问题. 矿床地质, 1990, 9(3): 287~289
- 3 常印佛等. 长江中下游铜铁矿带. 北京: 地质出版社, 1991.
- 4 Guilbert J M. The geology of ore deposits. New York: Freeman and Company, 1986.
- 5 Laznicka P. Derivation of giant ore deposits. 28th IGC. Abstracts, 1989, 2 of 3
- 6 Pei R, Wu L. On the emplacement of granite and a metallogenic model of Dajishan tungsten deposits, Jiangxi Province, China. Current research in geology applied to ore deposits. Jose Torres-Ruiz & Ferrlando Gervilla, 1993.
- 7 Mao J. Spacio-temporal relationship of multiple of granitic rock to multiple periods of mineralization in the Shizhuyuan W-polymetallic deposits, South Hunan, China. Current research in geology applied to ore deposits, Jose Torres-Ruiz & Fernando Gervilla, 1993.