

# 广东河台金矿成矿物理-化学条件 及找矿方向

何文武 张文淮

(中国地质大学矿产系,武汉)

**摘要:** 本文通过对河台金矿流体包裹体的研究,从包裹体一般特征,成矿温度、压力,成矿流体特征、来源等方面系统分析了成矿的物理化学条件,并进一步探讨了成矿流体在不同成矿期、不同成矿阶段的演化以及流体的演化在成矿过程中的意义。通过这些研究,结合成矿地质条件、矿床地质特征以及矿物学等方面的研究成果,提出了本区的找矿方向。

**关键词:** 河台金矿 韧性剪切带 成矿物理化学条件 找矿方向

## 1 成矿地质背景

河台金矿位于粤西云开加里东隆起带,吴川—四会大断裂与罗定—广宁大断裂的交汇部位之北西侧。区域出露主要地层为震旦系变质岩系,厚数千米;其次为寒武系、奥陶系及志留系。泥盆系及石炭系仅在隆起区边缘及断裂带中可见。区域出露花岗质岩体甚多,可分为三期:加里东期、印支期和燕山期。其中加里东期花岗岩分布最广,印支期次之。

矿区主要出露震旦系C组地层,为变质程度较深的片岩、变粒岩、片麻岩,并受不同程度的混合岩化。已知金矿及矿化糜棱岩带主要分布于震旦系C组地层内。云楼岗混合花岗岩闪长岩分布在矿区北西部,伍村巨斑状二长花岗岩分布在矿区东北部。龙降村—春水断裂从矿区南部通过,断裂带走向NE 50°左右,倾向NW,倾角40°~70°。震旦纪地层由北向南逆冲于奥陶系中上统之上,发育了数百米宽的糜棱岩带。位于主断裂上盘的变质岩(片岩、混合岩等)中发育了一系列派生的次一级糜棱岩带,成斜列式分布。剪切带产状很稳定,走向NE 50°~70°,倾向NW,倾角60°~85°。单个剪切带宽数十厘米—数十米,最宽达50m,长十几米至千余米,最长达1700多米,呈缓波状起伏的狭长带状。

河台金矿体严格受糜棱岩带控制。其直接顶底板均为金矿化的糜棱岩类岩石,矿体连续,呈形态比较简单的脉状,其产状与糜棱岩带近于一致。含金糜棱岩带蚀变类型主要为硅化、黄铁矿化、黄铜矿化、菱铁矿化、绿泥石化、绢云母化,其中硅化、黄铁矿化及黄铜矿化与成矿关系最为密切。

成矿作用分三期:动力变质分异期、热液期和表生期。动力变质分异期形成糜棱岩;热

① 何文武,男,30岁,讲师,矿床学专业。邮政编码:430074  
1991-05-19 收稿,1992-10-15 修改回

液期又可分为三个成矿阶段: 即金-石英阶段、金-石英-硫化物阶段和石英-硫化物-碳酸盐阶段。其中, 金-石英阶段和金-石英-硫化物阶段是主要成矿阶段。矿床成因属热液蚀变岩型金矿床。

## 2 成矿物理化学条件

### 2.1 矿物中流体包裹体的一般性质

河台韧性剪切带流体包裹体有其独特的性质, 其个体非常细小, 一般小于  $6\mu$ , 且分布很不均匀。韧性剪切作用及热液成矿作用造成不同阶段的石英聚集在一起。为此, 首先要认识韧性剪切作用及成矿作用的机理, 分清成矿的期次, 掌握各种成因石英的特点。

河台金矿存在下列三类包裹体:

(1) 富液相包裹体: 气液比  $5\% \sim 35\%$ , 这种包裹体数量最多, 分布最广, 片岩、混合岩、千糜岩、硅化岩、花岗岩中主要为该类型包裹体。(2) 富气相包裹体: 气液比  $50\% \sim 90\%$ , 均一为气相, 这种包裹体均一温度较高, 一般为  $370 \sim 550^\circ\text{C}$ , 数量很少。(3) 三相包裹体: 由气相、液相  $\text{CO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$  溶液相组成, 这种包裹体量少, 主要见于较晚期的含金石英脉, 如河海含金石英脉。此外, 在硅化类型矿石中偶尔也出现。气液包裹体一般特征如表 1。

表 1 河台金矿床矿物中流体包裹体一般特征

Table 1. Common features of fluid inclusions in minerals from the Hetai gold deposit

岩(矿)石 类型	片岩	混合 花岗岩	伟晶岩	绢云母石英 千糜岩	硅化岩矿石	石英 方解石脉	晚期含金 石英脉
包裹体类型	G+L	G+L	G+L	G+L	G+L	G+L	G+L, G+L+L
形状	不规则 状椭圆	椭圆形	椭圆形 不规则形	椭圆形 不规则形	椭圆形	圆形 椭圆形	圆形 椭圆形
大小( $\mu$ )	< 5	< 6	< 5	< 5	< 6[8~10]	< 6[7~8]	3~15
气液比 (%)	10~30	10~25	10~30	10~25[50]	10~35[50]	10~30	15~40
数量	稀少	较多	较多	极稀少	较多	较多	多

注: [ ]表示少数; G—气相; L—液相

### 2.2 成矿温度、压力

作者利用 Linkam TH 600 冷热台对本区金矿化有成因意义的石英进行包裹体均一法测温, 其测定结果见表 2。并利用  $\text{H}_2\text{O}$  的等容线图 ( $\text{NaCl} < 5 \text{ wt}\%$ , Roedder, 1980) 和  $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$  体系的 P-V-T 关系图 ( $\text{NaCl} > 5 \text{ wt}\%$ , Г Г 列姆列英与 H B 克列佛佐夫, 1961), 以及对于具液态  $\text{CO}_2$  和气态  $\text{CO}_2$  相的包裹体, 利用  $\text{CO}_2$  密度法<sup>[3]</sup>求得成矿压力, 结果见表 2。

### 2.3 成矿流体特征

运用冷冻法, 获得成矿流体盐度  $3.4 \sim 10.5 \text{ wt}\% \text{NaCl}$ , 密度  $0.66 \sim 0.87 \text{ g/cm}^3$ 。因此,

表 2 河台金矿床流体包裹体均一温度及压力测定结果

Table 2. Homogenization temperatures and pressures of fluid inclusions in the Hetai gold deposit

成因或成矿阶段	测定矿物	均一温度 (°C)		压力 (10 <sup>5</sup> Pa)
		区间	均值	
动力变质	石英	600~350	450	1500~2000
金-石英阶段	石英	350~250	300	1200
金-石英-硫化物阶段	石英	320~220	250	1000
石英-硫化物-碳酸盐阶段	石英、方解石	200~125	170	600
脆性断裂中的晚期含金石英脉	石英	350~250	300	205

本区成矿流体是一种低盐度和低-中等密度的流体。

河台金矿包裹体研究中,有一个很显著的特征是有些包裹体随着温度的升高,出现液相不混溶现象。即气液二相包裹体随着温度的升高,气相逐渐均一到液相,到250~450℃时,气相消失。随着温度的进一步增高,液相发生不混溶现象分离成两个液相。根据这些相变特点,推测流体为 H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl 体系。

众所周知,包裹体是主矿物结晶生长过程中捕获的成矿流体,研究它的成分特征对于认识成矿作用无疑具有重要意义。通过对不同岩(矿)石类型和不同成矿阶段共 10 件样品的成分测定(表 3),结合前人的研究成果(表 4)并作图 1,由此,加深了对成矿流体成分及其演化特征的认识。各种岩(矿)石包裹体流体的成分特征如下:

(1) 片岩中流体成分以高含量的 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、贫 Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 和较高含量的 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup> 为特征。气相成分以高 H<sub>2</sub>O 和高 CH<sub>4</sub> 含量为特征。(2) 混合岩包裹体以高 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup>、Na<sup>+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量,低 H<sub>2</sub>O 含量以及 Na<sup>+</sup>>K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>>F<sup>-</sup> 为特征。(3) 绢云母石英千糜岩成因特殊,它是韧性剪切作用的产物,其成分也较特殊。气体含量少, H<sub>2</sub>+CO+CH<sub>4</sub>+CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O 仅为 213.03 μg/g,其中 H<sub>2</sub>O 含量为 182.20 μg/g。离子浓度大,富含 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>,所以这种流体具有很大的化学活动性,Au 易形成络合物迁移。K<sup>+</sup> 的重量摩尔浓度  $m_{K^+}$  达 2.296,这与动力变质作用形成大量的绢云母相吻合。

(4) 硅化岩矿石是金-石英阶段的产物。此阶段流体成分与动力变质期具过渡性。首先体现在气相成分上,其气体成分总量及含 H<sub>2</sub>O 量均介于动力变质期与金-石英-硫化物阶段之间。其次 Cl<sup>-</sup>/F<sup>-</sup>、K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup>、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> 等均具过渡性。这种流体 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> 浓度较高,气体含一定量 CO<sub>2</sub>,所以绢云母化较发育。(5) 硫化物化硅化岩矿石是金-石英-硫化物阶段的产物。此阶段流体 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 含量较高,贫 F<sup>-</sup>,高 H<sub>2</sub>O 含量。(6) 黄铁矿-方解石脉是晚阶段(石英-硫化物-碳酸盐阶段)的产物。方解石中包体成分较特殊,离子以高 Ca<sup>2+</sup>、F<sup>-</sup>、Cl<sup>-</sup> 浓度为特征,K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 浓度相对较低,气体以高 H<sub>2</sub>O、贫 CO 含量为特征。

(7) 混合岩中的晚期石英脉属无矿石英,其包裹体气相成分以高 H<sub>2</sub>O、高 CO 含量为特征,离子浓度较显著的特点是 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup> 浓度高。(8) 河海含金石英脉发育于脆性断裂,其

表 3 河台金矿流体包裹体成分和参数数据表

Table 3. Composition and other parameters of fluid inclusions in the Hetai gold deposit

单 位	样品号码	G-ZK8009	G- +160-2	H-+176 民-1	G- +200-1	G- ZK6408	Y- +240- CM1501	Y- +180-1	G-BT- 5	G- +200-2	河-1
	矿(岩)石 类 型	混合岩中的 晚期石英脉	绢云母石 英千糜岩	硅化石英脉矿石		硫化物硅化岩矿石				黄铁矿 方解石脉	含金 石英脉
位	成矿阶段		动力 变质期	金-石英阶段		金-石英-硫化物阶段				硫化物- 碳酸盐 阶段	晚期
	采样位置 项目	高 村	高村 +160坑	后径民硐	高村 +200坑	高村	云西 +240坑	云西 +180坑	高村剥土 5	高村 +200坑	河海矿床
μg/g	H <sub>2</sub>	0.208	0.104	0.238	0.312	0.312	0.040	0.832	0.445	0.668	0.371
	CO	9.15	1.52	3.05	6.10	6.10	9.15	6.10	7.62	—	1.52
	CH <sub>4</sub>	3.35	1.67	2.79	5.58	1.67	5.58	6.70	5.58	0.56	2.79
	CO <sub>2</sub>	41.31	27.54	41.31	55.08	41.31	137.7	27.54	68.85	55.08	206.5
	H <sub>2</sub> O	686.4	182.2	330.5	428.0	652.5	694.9	669.5	644.1	847.5	567.8
	K <sup>+</sup>	53.08	16.36	7.50	—	20.88	19.22	—	—	9.36	6.25
	Na <sup>+</sup>	22.73	1.84	1.44	—	5.53	8.75	—	—	1.70	5.80
	Ca <sup>2+</sup>	33.85	146.4	20.42	—	34.71	40.59	—	—	344.7	19.20
	Mg <sup>2+</sup>	1.54	11.82	5.46	—	10.74	14.22	—	—	2.98	13.64
	F <sup>-</sup>	1.84	8.91	6.40	—	2.09	—	—	—	64.68	—
Cl <sup>-</sup>	65.77	79.55	90.00	—	64.12	62.81	—	—	172.3	26.14	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	39.62	43.18	166.7	—	89.12	104.7	—	—	28.09	4.36	
重量摩尔浓度	K <sup>+</sup>	1.978	2.296	0.580	—	0.818	0.707	—	—	0.282	0.282
	Na <sup>+</sup>	1.440	0.439	0.189	—	0.368	0.547	—	—	0.087	0.444
	Ca <sup>2+</sup>	1.233	20.08	1.545	—	1.330	1.460	—	—	10.17	0.845
	Mg <sup>2+</sup>	0.092	2.670	0.680	—	0.677	0.842	—	—	0.145	0.989
	F <sup>-</sup>	0.141	2.574	1.019	—	0.169	—	—	—	4.017	—
	Cl <sup>-</sup>	2.699	12.30	7.671	—	2.768	2.546	—	—	5.726	1.297
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.601	2.469	5.253	—	1.423	1.569	—	—	0.345	0.080
气体摩尔分数 (×10 <sup>3</sup> )	X <sub>H<sub>2</sub></sub>	2.6	4.9	6.0	6.1	4.1	12	11	5.8	6.9	5.1
	X <sub>CO</sub>	8.2	4.9	5.5	8.5	5.8	7.6	5.6	7.1	—	1.5
	X <sub>CH<sub>4</sub></sub>	5.3	9.5	8.8	14	2.8	8.1	11	9.1	0.7	4.7
	X <sub>CO<sub>2</sub></sub>	23.6	57.1	48	49	25	73	16	41	26	128
	X <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	960	924	932	923	962	899	957	937	967	861
摩尔数之比	K <sup>+</sup> /Na <sup>+</sup>	1.374	5.230	3.069	—	2.223	1.293	—	—	3.241	0.635
	Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup>	13.40	7.521	2.272	—	1.965	1.734	—	—	70.12	0.854
	Cl <sup>-</sup> /F <sup>-</sup>	19.14	4.779	7.528	—	16.38	—	—	—	1.425	—
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Cl <sup>-</sup>	0.223	0.201	0.685	—	0.514	0.616	—	—	0.060	0.062
	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	0.025	0.062	0.052	—	0.026	0.081	—	—	0.027	0.149
	CH <sub>4</sub> /CO <sub>2</sub>	0.223	0.166	0.183	—	0.112	0.111	—	—	0.027	0.037

注: 气相成分由宜昌冶金地质所测定, 液相成分由中国地质大学(武汉)矿床室测定; 测定矿物除G-+200-2为方解石外, 其他均为石英

表 4 河台金矿床片岩与混合岩流体包裹体成分

Table 4. Composition of fluid inclusions in schist and migmatite of the Hetai gold deposit

岩石名称	分析项目				液相成分 (%)										
	气相成分 (ml/100g)	CO	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Au <sup>3+</sup> ①	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
二云母片岩	-	20.50	11.4	126.4		0.94	1.58	-	-	0.063	6.10	11.96	0.55	0.33	0.081
阴影混合岩	110	2.09	8.5	27.86		0.07	0.35	0.19	0.05	0.18	9.60	9.85	0.21	2.91	1.38

岩石名称	分析项目				
	摩尔数比				
	K <sup>+</sup> /Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup> /F <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Cl <sup>-</sup>	CH <sub>4</sub> /CO
二云母片岩	0.351	-	0.321	0.009	1.79
阴影混合岩	0.117	2.333	7.438	0.175	0.246

注: H<sub>2</sub>O单位为 mg/100g 据719队; ① Au<sup>3+</sup>单位为 10<sup>-6</sup>

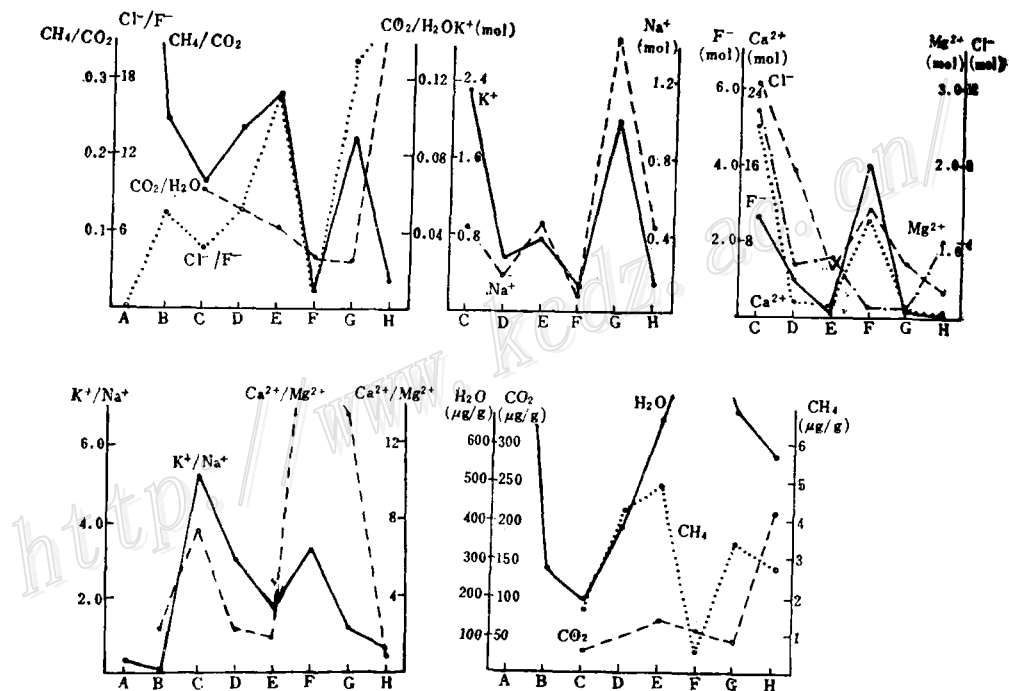


图 1 河台金矿流体包裹体成分变化图

A—片岩; B—混合岩; C—千糜岩; D—硅化岩矿石 (第一成矿阶段); E—硫化物硅化岩矿石 (第二成矿阶段); F—黄铁矿-方解石脉; G—混合岩中的石英细脉; H—河海含金石英脉 (比值均为摩尔数之比)

Fig. 1. Variations in fluid inclusion composition of the Hetai gold deposit.

A—Schist, B—Migmatite, C—Phyllonite, D—Ore of silicified rock (1st ore-forming stage); E—Ore of sulfidized-silicified rock (2nd ore-forming stage); F—Pyrite-calcite veins; G—Quartz veinlets in migmatite; H—Hetai auriferous vein (unit: mole number).

包裹体气相成分与剪切带中硅化石英既有区别又有相似之处。最大的区别是其流体具有高含量的CO<sub>2</sub>，所以常能见到含液相CO<sub>2</sub>的三相包裹体。而其离子浓度与金-石英-硫化物阶段的流体具相似性。

2.4 成矿流体的pH值、f<sub>O<sub>2</sub></sub>和f<sub>S<sub>2</sub></sub>

在动力变质期，本区长石转变成石英+绢云母是普遍现象。利用这一变化可求得该期的pH值。热液期成矿溶液pH值，系采用CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-NaCl体系的计算方法求得(D A Crear, 1978)。f<sub>O<sub>2</sub></sub>是利用反应式2CO+O<sub>2</sub>=2CO<sub>2</sub>获得。f<sub>S<sub>2</sub></sub>则利用Fe-Cu-O-S体系的相平衡关系，构筑f<sub>O<sub>2</sub></sub>-f<sub>S<sub>2</sub></sub>图(图2)获得。结果见表5。

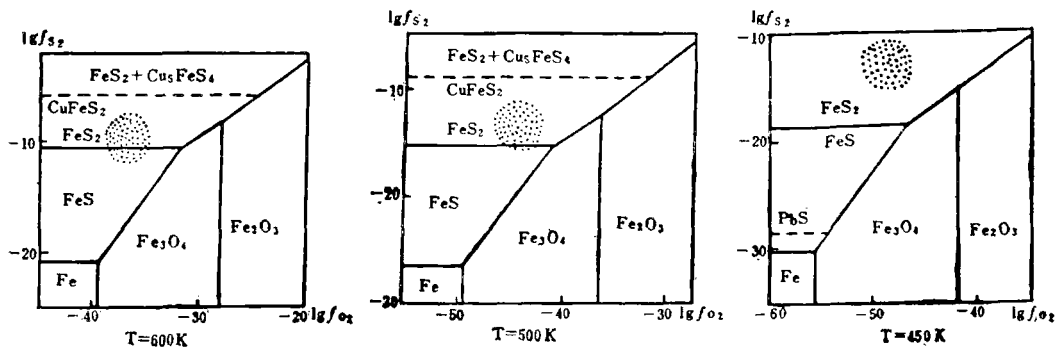


图2 河台金矿矿物稳定范围(阴影区)的lgf<sub>O<sub>2</sub></sub>-lgf<sub>S<sub>2</sub></sub>图解

Fig. 2 lgf<sub>O<sub>2</sub></sub> versus lgf<sub>S<sub>2</sub></sub> diagrams showing stable fields of minerals (shaded areas) in the Hetai gold deposit.

表5 河台金矿床流体包裹体物理化学参数计算结果

Table 5. Physicochemical parameters of fluid inclusions in the Hetai gold deposit

成矿期或阶段		pH	lgf <sub>O<sub>2</sub></sub> (10 <sup>5</sup> Pa)	lgf <sub>S<sub>2</sub></sub> (10 <sup>5</sup> Pa)
动力变质期		3.95	-25	
热液期	金-石英阶段	4.57	-35~-39	-7~-12
	金-石英-硫化物阶段	4.17	-44	-10~-16
	石英-硫化物-碳酸盐阶段	3.77	-49	-10~-15
脆性断裂中的晚期含金石英脉		4.72	-37	-7~-10

2.5 成矿流体的来源

河台金矿矿石内，由于多种成因的石英共存在一起，所以要判断成矿流体的来源，首先应将硅化石英分离出来，含矿石英脉(或硅化岩矿石)和硫化物化硅化岩矿石即代表成矿阶段的产物。据本人及前人资料，δD=-54‰~-80‰，δ<sup>18</sup>O<sub>H<sub>2</sub>O</sub>=-4.52‰~8.04‰，且δ<sup>11</sup>O<sub>H<sub>2</sub>O</sub>大部分落在5‰~10‰。所以可以推测成矿流体主要为变质水和岩浆水，这与成矿地质条件推断是一致的。据符力奋的研究<sup>[4]</sup>，晚阶段的铅锌方解石脉，方解石中δ<sup>18</sup>O<sub>H<sub>2</sub>O</sub>为

-26.71‰~-22.80‰, 说明晚阶段大气降水占很大比重。

## 2.6 流体的演化及成矿意义

(1) 本区混合岩是片岩混合岩化作用的产物。从表4可以看出, 混合岩化作用是强烈的脱水过程, 含 $H_2O$ 量显著减少。河台金矿所处的区域变质作用、混合岩化作用强烈, 形成广为分布的片岩及混合岩-混合花岗岩的各种过渡岩石系列, 在这种区域变质作用和混合岩化作用过程中形成大量的流体相, 从包裹体成分资料可知, 这种流体富 $Cl^-$ 、 $HCO_3^-$ , 可以从岩石中萃取、淋滤金, 从而为成矿提供物源, 并且随着地层变质程度、混合岩化程度的加深, 岩石中被萃取的金愈来愈多。被萃取的金自深变质带向浅变质带迁移。

(2) 动力变质期流体高 $K^+$ 浓度, 为形成大量绢云母提供了物质条件。大量绢云母在动力变质期的生成有利于热液成矿期硅化作用的进行。硅化作用是促使矿质沉淀的最重要围岩蚀变之一。

(3) 流体包裹体特征能反映韧性强度。研究表明, 韧性剪切作用形成的动态重结晶石英, 其包裹体非常细小、稀少, 含 $H_2O$ 量少。而后期沿脆性断裂充填交代的硅化石英, 其包裹体数量增多, 个体增大(但个体明显小于晚期沿脆性断裂充填交代的含金石英脉中的包裹体), 含 $H_2O$ 量增加, 且含 $H_2O$ 量由动力变质期→金-石英阶段→金-石英-硫化物阶段→石英-硫化物-碳酸盐阶段逐渐增多。这说明韧性剪切作用向晚期无矿热液阶段逐渐减弱, 而成矿作用正处在由韧性向脆性的转化时期。成矿压力的研究表明, 随着成矿作用的进行, 成矿压力逐渐减小, 说明由韧性向脆性的转变过程中, 地壳可能发生较明显的抬升作用。

(4) 由动力变质期→金-石英阶段→金-石英-硫化物阶段,  $F^-$ 、 $Cl^-$ 、 $CO_2$ 、 $CH_4$ 、 $H_2O$ 及 $Cl^-/F^-$ 、 $K^+/Na^+$ 、 $Ca^{2+}/Mg^{2+}$ 、 $CH_4/CO_2$ 、 $CO_2/H_2O$ (均为摩尔数之比)等, 均为逐渐过渡关系, 或逐渐减少, 或逐渐增加。这说明, 韧性剪切作用、成矿物质初步富集及进一步富集, 并不是截然分开的, 而是逐渐演化的。在这个演化过程中, 均有 $K^+ > Na^+$ 、 $Ca^{2+} > Mg^{2+}$ 、 $Cl^- > F^-$ 、 $Cl^- > SO_4^{2-}$ , 说明流体成分除具逐渐演化的一面外, 还有继承性的一面。

(5) 金在热液中的配位形式是 $pH$ 、 $f_{O_2}$ 、 $f_{S_2}$ 、 $t$ 、 $m_{Cl^-}$ 及 $m_{S}$ 等的函数, 据计算<sup>①</sup>, 金主要以 $Au(HS)_2^-$ 形式迁移, 以 $AuCl_2^-$ 和 $Au_2(HS)_2S^{2-}$ 形式迁移的金占少数。并且金-石英阶段以 $AuCl_2^-$ 形式迁移的金较金-石英-硫化物阶段以这种形式迁移的金多。

(6) 剪切带是特别重要的流体通道, 成矿流体在沿剪切带较脆性的裂隙迁移交代过程中发生演化, 含金络合物发生分解, 金得以沉淀。所沉淀的部位应是低 $f_{O_2}$ (导致流体还原, 络合物分解)、弱酸性、适宜的温度(350~220℃)和压力( $1200 \times 10^5 \sim 1000 \times 10^5 Pa$ )环境。

## 3 找矿方向

本文认为, 云开地区寻找金矿的潜力仍然很大。

### (1) “河台式”金矿床的寻找

云开地区是加里东褶皱隆起区, 地层含金背景高, 发育有浅变质岩系及具混合岩化的中

① 何文武, 中国地质大学硕士论文

深变质岩系,多旋回的构造-岩浆活动,并且发育提供矿质流动和聚集的韧性剪切带,继续在该区找到“河台式”金矿可能性很大。“河台式”金矿的寻找应注重浅变质岩系(绿片岩相)中的剪切带,发育于混合岩中的剪切带可以有金矿床,但规模不会太大。

#### (2) 脆性断裂中“石英脉型”金矿床的寻找

地壳不断隆起,由韧性转变为脆性,在脆性断裂中充填石英脉型金矿床可能性很大,河海矿床就是一例。这种脆性断裂石英脉型矿床比“河台式”金矿床形成时间晚。

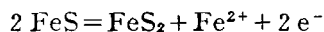
#### (3) “沉积变质型”金矿的寻找

区域变质作用及混合岩化作用很有可能使金在某一特定层位聚集,形成沉积变质型金矿。重点应注意浅变质(绿片岩相)的震旦系-寒武系。

#### (4) 河台金矿深部找矿问题

本次研究利用磁黄铁矿与黄铁矿含量的相对变化,探讨矿体的深部延伸取得了较好的效果。

磁黄铁矿同黄铁矿相比是较为还原的,在自然界它们的相对稳定性取决于氧化还原反应,其关系可用下列一般的氧化还原方程式表示:



磁黄铁矿指示低的硫和氧逸度,黄铁矿指示高的硫和氧逸度,硫、氧逸度的变化反映着空间位置的变化。

磁黄铁矿和黄铁矿含量的相对变化,除反映硫、氧逸度的变化外,还能指示温度的变化。在热水溶液中,磁黄铁矿在较高温度下稳定,而黄铁矿在较低温度下稳定,而金的成矿温度区间是受到限制的,所以可以利用磁黄铁矿与黄铁矿在空间含量的相对变化,获得矿体延伸的信息。

河台金矿黄铁矿、磁黄铁矿数量在空间具有明显的消长规律,自上而下黄铁矿含量逐渐减少,而磁黄铁矿含量逐渐增加。

通过对钻孔、坑道近50块样品硫化物中磁黄铁矿含量估算发现,上部矿体的磁黄铁矿占硫化物的0%~20%,中部矿体30%~50%,下部矿体60%~70%,所以可以利用这种含量的变化,指导勘探工作。

通过对磁黄铁矿的含量变化规律与已有勘探成果比较,发现两者比较吻合。并推测出:高村矿床11号矿体东部可以延伸到约-400m深度,并向后径矿床侧伏;后径矿床12号矿体深部及高村和云西矿床之间部位矿化不佳;云西矿床9号矿体深部具较大远景。

周平<sup>①</sup>曾利用黄铁矿晶形在空间的变化规律对河台金矿深部进行预测,其预测结果与上述结果基本一致。

此外,根据大量的流体包裹体均一法温度测定,发现温度的变化与磁黄铁矿含量的变化具有近似的趋势,即自上部向下部,温度有逐渐增高的趋势。根据这种温度在空间的变化所预测的结果亦与由磁黄铁矿含量变化预测结果基本一致。

谨将本文献给已故徐国风教授。

本论文得到了朱上庆教授以及邵洁涟教授的精心指导。野外工作得到了广东719地质队

① 周平 中国地质大学硕士论文



肖鸿群高工的大力协作，顺此一并致谢。

### 参 考 文 献

- 1 凌井生. 广东河台金矿地质特征. 广东地质, 1986, 1 (1): 35~50
- 2 王鹤年等. 广东河台糜棱岩带蚀变岩型金矿床的地球化学研究. 矿床地质, 1989, 8 (2): 61~71
- 3 何知礼. 包体矿物学. 北京: 地质出版社, 1982.
- 4 符力奋. “断裂变质作用”与金的成矿作用初探. 广东地质, 1988, 3 (1): 31~44
- 5 Helgeson H C. Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures. Am. Jour. Sci., 1969, 267: 729~804

## PHYSICAL-CHEMICAL CONDITIONS FOR THE ORE-FORMING PROCESS OF THE HETAI GOLD DEPOSIT IN GUANGDONG PROVINCE AND ORE-PROSPECTING DIRECTIONS

He Wenwu and Zhang Wenhui

*(Department of Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei Province)*

### Abstract

Located in Yunkai Mountains, western Guangdong, and controlled by a ductile shear zone, the Hetai deposit is an important gold deposit in South China. Fluid inclusion studies show that ore-forming fluids are of the  $H_2O$ - $CO_2$ - $NaCl$  system, and metallogenic environments are noted for moderate to low temperatures ( $350\sim 220^\circ C$ ), low salinities (3.50~10.50 wt% NaCl), weak acidity ( $pH=4.57\sim 4.17$ ), low  $f_{O_2}$  ( $10^{-35}\sim 10^{-44}$  bar), low  $f_{S_2}$  ( $10^{-7}\sim 10^{-16}$  bar) and pressures of 1200~1000 bar. Ore-forming fluids are characterized by  $K^+ > Na^+$ ,  $Ca^{2+} \gg Mg^{2+}$ ,  $Cl^- \gg F^-$ ,  $CO_2 > CH_4$  and abundant  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$ . Ore-forming fluids, derived mainly from metamorphic and magmatic waters, changed gradually in composition from the ductile shearing phase through the gold-quartz stage of the brittle deformation phase to the gold-quartz-sulfide stage.

The conversion from ductile deformation to brittle deformation resulted in the mineralization and concentration of gold in the ore district.

Great gold-hunting potentiality exists in Yunkai area, where "Hetai type" gold deposits, "quartz vein type" gold deposits and "sedimento-metamorphic type" gold deposits might be further discovered. The eastern part of the No. 11 orebody might extend to a depth of some -400 m and plunge laterally towards the Houjing deposit. Mineralization is poor in the depth of the No. 12 orebody of the Houjing deposit and between the Gaocun and the Yunxi deposit; nevertheless, the depth of the No. 9 orebody of the Yunxi deposit seems rather promising.