

· 问题讨论 ·

# 河台金矿矿床地球化学研究及矿田成矿模式探讨

叶锦华 邱小平

(中国地质科学院成矿远景区划室)

河台金矿由蚀变糜棱岩型和石英脉型二类金矿组成。地质地球化学研究结果表明:石英脉型金矿形成早于韧性剪切变形,与海西—印支期深熔岩浆活动有关;蚀变糜棱岩型金矿则与燕山晚期岩浆活动有关,主体成矿晚于糜棱岩期,并继承和叠加了早期石英脉型金矿。金矿床成矿温度为中温,成矿深度为 2—3km,矿质具围岩和基底双重来源。

**关键词** 河台金矿 地球化学 成矿模式

河台金矿位于广东省高要县境内,是我国南方近十年以来发现的著名金矿田之一。最近,笔者在开展对该地区的科研工作过程中,取得了一些新认识。本文试图对矿床地质地球化学特征及成矿模式作一探讨。

## 1 成矿地质背景

矿区位于华南褶皱系云开加里东隆起带北东部,罗定—广宁和吴川—四会二大断裂变质带的交汇部之北西侧。

区域上主要出露自晚元古代(震旦纪)至志留纪的一套含火山岩浅海—深海相类复理石建造和泥盆纪陆相—浅海相砂岩、砂页岩及碳酸盐建造。加里东运动末期,区域上经历了强烈的褶皱、隆起和区域变质、混合岩化及花岗岩化作用。因而从震旦至志留系都经过了绿片岩相变质作用。区域上酸性岩浆岩分布广泛,从加里东、海西、印支到燕山期都有酸性岩浆侵入,海西期以来,沿罗定—广宁断裂变质带发生了强烈的断裂变质—超变质作用以及花岗岩化和韧性剪切作用。区域上分布的金矿床(点)都与中酸性岩浆活动和脆—韧(脆)性剪切作用密切相关。

矿区位于京村—宝鸭塘—坑尾断裂二侧。出露的地层有震旦系 C 组二云母片岩、片状石英岩和混合岩化片岩、片麻岩,寒武系八村群变质砂岩和片岩,奥陶系三尖群干枚岩及变质粉砂岩。区内北部分布有大面积海西、印支和燕山多期次侵入的浅—深熔花岗杂岩体——云楼岗岩体,东北部有海西—印支、燕山多期次侵入的深源重熔二长花岗岩体——伍村岩体。据卫片分析,在蚀变糜棱岩矿床区或附近,有一系列环形构造显示。矿区主要出露断裂混合岩

和震旦系C组片岩。“蠕虫状”糜棱岩体和石英脉呈NEE向分布其中,它们是金矿床的定位场所。

## 2 矿床类型及其特征

在矿田范围内,有二种不同类型的金矿。石英脉型金矿和蚀变糜棱岩型金矿,并以后者为主。

### 2.1 石英脉型(河海式)金矿

分布在震旦纪C组变质岩的脆性剪切带中,距海西—印支期重熔花岗岩体不远(2km以内)。河海矿床和高村矿床51号矿体是其典型代表。石英脉型矿床普遍受后期韧性剪切—岩浆热液成矿作用的改造,部分形成石英糜棱岩型矿石。

含金石英脉走向NEE,倾向NW,形态简单,产状较稳定,围岩为震旦系C组变质岩。矿体位于石英脉体的中上部位。

### 2.2 蚀变糜棱岩型(高村式)金矿

赋存于走向NEE倾向NW的糜棱岩体中,有高村、云西、太平顶、后迳、尚台、宝鸭塘等矿床(点)。本区的韧性剪切糜棱岩体一般长几百m至1000m以上,宽几m至十几m,倾向延伸几十m至几百m,原岩多为二云母石英片岩、混合岩和花岗质伟晶岩脉。

矿体一般位于较大规模糜棱岩体的中上部,强韧性变形带中,赋矿围岩多为超糜岩—糜片岩—糜棱岩。矿体走向、倾向与糜棱岩体基本一致。但矿体产状不稳定,有明显的尖灭复现分枝复合现象。

蚀变糜棱岩型金矿石依硅化程度的差异可分为狭义的糜棱岩型金矿石和蚀变硅化岩型金矿石。二者区别在于糜棱岩型矿石晚期硅化石英少发育或不发育,仍保留着糜棱岩的S<sub>s</sub>—S<sub>c</sub>组构,而蚀变硅化岩型金矿晚期硅化石英十分发育,原来的糜棱结构和S<sub>s</sub>—S<sub>c</sub>组构已基本或完全被交代。硅化石英是晚期热液蚀变产物。其一般没有早期石英脉那种明显的韧性变形(变形带、变形纹等)特点,颜色亦较浅,一般为白色,呈团斑—块状。硅化体一般位于矿体的厚度膨大部位(其往往亦是糜棱岩体厚度膨大部位),常常构成金矿体中的富矿包。

二类金矿矿石矿物组成相似,主要为金属硫化物黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿和自然金,有少量闪锌矿、方铅矿、菱铁矿、毒砂和金银矿。

## 3 成矿物理化学条件

### 3.1 成矿温度和成矿压力

早期含金石英脉均一温度为149—349℃,主要集中在180—220℃,晚期蚀变糜棱岩金矿硅化石英均一温度为145—290℃,主要集中在190—240℃。经压力校正后,各矿床实际成矿温度比它们的包体均一温度高出约50℃。石英脉型金矿主体成矿温度约为230—270℃,蚀变糜棱岩型金矿成矿温度约为240—290℃,这与其黄铁矿—黄铜矿共生矿物对硫同位素平衡温度(227—251℃(1))较为接近。总之,二类金矿床成矿温度基本在中温范围。

作者根据河海矿床石英中的包体盐度,均一温度,估算石英脉型金矿成矿压为 $680 \times 10^5$ — $810 \times 10^5$ Pa,相当于成矿深度2.40—2.86km。据高村等蚀变糜棱岩型金矿包体成分计算(2)、(3)蚀变糜棱岩型金矿的成矿压力为 $573.3 \times 10^5$ — $1033 \times 10^5$ Pa,相当于成矿深度2.03—

3.65km。

### 3.2 成矿流体成分及其成因意义

与金共生的石英中流体包体成分以液相为主, 偶见含 NaCl 子晶包体, 气液比较小, 多为 5%—15%。

区内一些矿床流体包体气、液相成分分析结果列于表 1 和表 2。

(1) 成矿流体气相成分特点: ①主要为 H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub> 和 CO 并伴有少量 CH<sub>4</sub>、H<sub>2</sub> 和 N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> 的来源可能与围岩中的有机质有关; ②就氧化还原系数 R 来说, 混合岩化热液最大, 达 8.3, 说明其形成于强还原环境; 河海矿床最小, 仅 0.1—0.2, 反映了其形成于强氧化环境, 而糜棱岩型金矿介于上述二者之间, 反映了其形成于中等还原环境; ③河海石英脉型金矿成矿流体气相 CO<sub>2</sub>/CO、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>+CO/H<sub>2</sub>O 与混合岩化热液和蚀变糜棱岩金矿成矿流体差别较大, 说明二者成因有所不同。

表 1 河台金矿田某些矿床共生石英流体包体气相成分 (10<sup>-6</sup>) 及有关参数

Table 1 Gas components and relative ratio values of quartz fluid inclusions in some gold deposits of Hetai gold orefield

矿床名称	样数	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	CO	R	$\frac{CO_2+CO}{H_2O}$	CO <sub>2</sub> /CO	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O
高村	7	0—	21.5—	0.1—	31.5—	333.3—					0.09—
		0.55	74.8	5.9	338.3	2779.5	*				0.29
太平顶	2	*	*	9.0—	136.5—	345.4—	716.6—	2.2—	1.9—	0.2—	0.30—
				73.5	634.3	449.5	1300.9	5.3	5.6	0.5	1.84
河海	3	0.07—	1.0—	2.0—	13.8—	497.7—	0.3—	0.1—	0.03—	28.1—	0.02—
		0.11	1.9	2.6	37.9	555.2	1.1	0.2	0.10	118.3	0.09
双保	1	0	24.7	5.7	144.3	1241.4	*				0.12
混合岩	1	*	*	14.9	167.0	223.9	1375.3	8.3	6.9	0.1	0.75

$$R = \frac{CO + CH_4 + H_2}{CO_2}$$

\* 表示未分析; 资料据符力奋、陈础庭和本文综合

(2) 成矿流体液相成分特点: ①各矿床流体包体液相成分, 阳离子以 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup> 为主, Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup> 次之; 主要阴离子有 Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 河海矿床 F<sup>-</sup> 亦较高。总地来看, 成矿热液应属 Na<sup>+</sup>—K<sup>+</sup>—Cl<sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>—SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 体系; ②矿床流体包体液相 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>/Cl<sup>-</sup> 一般高于形成片岩的变质热液, 而 F<sup>-</sup>/Cl<sup>-</sup> 一般低于形成片岩的变质热液。但上述比值却与矿区北部岩浆热液成因的双保金矿相近; ③无论是蚀变糜棱岩型金矿还是石英脉型金矿, 其 (K<sup>+</sup>+Na<sup>+</sup>)/(Ca<sup>2+</sup>+Mg<sup>2+</sup>) 高, 为 3.33 至 22.04, 平均 12.75, 比矿区的混合岩化热液的上述比值 (1.75) 要大得多, 而与双保金矿相近。

总之, 矿物的流体包体成分表明成矿热液可能属于某种岩浆热液而非变质或混合岩化热

液,且糜棱岩金矿与石英脉型金矿形成环境亦有较大差异。

(3) 流体包体的盐度、密度、氧逸度 ( $fO_2$ ), 据戴爱华等 (1988) 资料, 高村矿床含金硅化岩中石英的流体包体盐度为 7.8wtNaCl%—9.8wtNaCl% (2)。结合矿床形成的  $P-T$  条件并参照 Roedder. E. 的密度在不同盐度 (wtNaCl%) 下的  $P-T$  图解 (4), 求得高村矿床成矿流体的密度为 0.93—0.97g/cm<sup>3</sup>。

表2 河台金矿田某些矿床共生石英流体包体液相成分 ( $10^{-2}$ ) 及有关参数  
Table 2 Liquid components and relative ratio values of quartz fluid inclusions  
in some gold deposits of Hetai gold orefield

矿床名称	样数	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>	F <sup>-</sup> /Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Cl <sup>-</sup>	$\frac{K^+ + Na^-}{Ca^{2+} + Mg^{2-}}$
高村	7	0.28—1.56—0.04—	0—	0—	0—	0—	0.14—	0—	1.20—	0.67—	0—	0—	1.58—
		4.23	8.90	2.45	2.68	0.10	9.72	5.87	3.60	9.8	0.83	25.0	54.0
太平顶	3	0.34—0.35—0.04—0.02—0.08—	0.24—	0.12—	0.61—	0.87—	0.02—	0.10—	7.67—				
		0.76	8.52	0.07	0.31	0.33	6.21	9.84	5.60	1.74	0.33	23.3	52.3
河海	3	2.24—2.14—0.31—0.16—0.48—	1.58—					0—	0.58—	0.09—	0—	6.33—	
		3.68	3.43	0.34	0.61	2.75	5.29	*	2.70	1.25	1.11	1.53	12.10
双保	1	0.96	8.03	0.85	0.44	0.07	0.36	3.88	2.80	8.4	0.19	7.78	6.97
混合岩	1	0.07	0.35	0.19	0.05	0.21	2.91	9.85	1.38	5.0	0.07	0.47	1.75
二云母片岩	1	0.94	1.58	0	0	0.55	0.33	11.96	0.08	1.68	1.67	0.25	

\* 表示未分析; 资料据符力奋、陈础庭与本文资料综合

对于河海矿床, 根据作者测定, 成矿流体盐度相当于 15.8wtNaCl%—17.5wtNaCl%。可求出河海矿床成矿流体密度为 0.98—1.0g/cm<sup>3</sup>, 比蚀变糜棱岩型高村金矿略大。

笔者通过对包体流体气相成分的计算, 求得蚀变糜棱岩型金矿成矿流体  $fO_2$  为 10—39.5—10—37.5, 而石英脉型金矿为 10—38.5 左右。

#### 4 稳定同位素组成和矿质来源讨论

河台金矿田主要载金矿物为黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿等金属硫化物和石英, 因此金属硫化物的硫、铅来源可间接反映金的来源。石英的流体包体水的来源可代表成矿流体的来源。

##### 4.1 硫同位素组成和硫源

河台矿区金属硫化物  $\delta^{34}S$  分布范围较狭窄, 总体上靠近零点偏向负值一侧。(表3) 各矿床  $\delta^{34}S$  极差很小。高村、云西矿床的分析数据, 呈明显的塔式分布。本区接近零均一化明显的矿石硫同位素组成反映了矿石硫可能来源于某种均一化的岩浆。

表3 河台金矿田硫同位素组成  
Table 3  $\delta^{34}\text{S}$  (‰) of sulfides of Hetai gold orefield ore—lead

矿床	黄铁矿	磁黄铁矿	黄铜矿	闪锌矿	方铅矿
高村	$\frac{-3.2-+1.8}{-2.0}$ (24) <sup>①,②,③</sup>	$\frac{-3.1-+2.4}{-2.7}$ (2) <sup>③</sup>	$\frac{-3.5-+0.8}{-2.2}$ (12) <sup>①,②</sup>	$\frac{-6.1-+4.5}{-5.1}$ (4) <sup>①,②</sup>	$\frac{-9.0-+7.3}{-6.7}$ (6) <sup>①</sup>
云西	$\frac{-3.2-+2.6}{-1.2}$ (18) <sup>②,③</sup>	$\frac{-2.9-+2.2}{-2.6}$ (3) <sup>②,③</sup>	$\frac{-3.4-+0.8}{-2.5}$ (7) <sup>③</sup>	—	—
太平顶	$\frac{-3.2-+1.1}{-2.2}$ (9) <sup>②,③</sup>	-3.0 (1) <sup>③</sup>	—	—	—
尚台	-4.0 (1) <sup>①</sup>	-4.0 (1) <sup>①</sup>	—	—	—
后迳	-2.7 (1) <sup>②</sup>	—	—	—	—
宝鸭塘	$\frac{-3.0-+0.3}{-1.7}$ (2) <sup>③</sup>	—	—	—	—
河海	$\frac{-2.7-+2.4}{-2.6}$ (3) <sup>①</sup>	—	—	—	—

资料来源①符力奋；②叶伯丹；③张志兰；④本文

#### 4.2 铅同位素组成和铅源

从表4中可以看出,各矿床的矿石铅都不是简单的单阶段演化正常铅。在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 关系图(略)上,河海矿床的三个样、太平顶矿床的4个样和高村矿床大多数样品形成各自的低斜率直线排列,具有二阶段铅特点。根据各自的成矿年龄(见后),笔者通过回归分析拟合了上述三个矿床的铅同位素组成二阶段演化直线斜率( $R$ )和基底年龄( $t_1$ )如下:高村矿床: $R=0.1547$ , $t_1=2400\text{Ma}$ 年, $r$ (相关系数) $=0.826$ ;太平顶矿床: $R=0.2117$ , $t_1=3000\text{Ma}$ , $r=0.970$ ;河海矿床: $R=0.1877$ , $t_1=2600\text{Ma}$ , $r=1.000$ 。这反映了河台金矿可能是2400—3000Ma年基底的正常铅与围岩的放射性成因铅相混合的结果。

依据铅同位素组成变化特点, $\varphi$ 值、 $M$ 值特点以及矿石铅在Pb—Pb关系图上的位置可将本区的金矿床分成三类:①铅同位素比值极差大,放射性成因铅高, $\varphi$ 年龄变化大且多为负值。 $\mu$ 值较大,为9.62—9.85,平均9.76。矿石铅多处于上地壳铅演化线附近,少数点落在造山带附近。铅主要来源于高放射成因的围岩铅。此类如高村矿床。②铅同位素比值极差小, $\varphi$ 年龄全为正值, $\mu$ 值中等,为9.55—9.81,平均9.67。在Pb—Pb图上多处于平均造山带铅演化曲线附近(上、下地壳演化曲线之间)。铅来源于下地壳(基底)铅和围岩铅的混合。此类矿床有云西、太平顶、后迳等矿床。③铅同位素比值较小,但极差大,具典型的二阶段演化铅特点。 $\mu$ 值较低,为9.32—9.59,平均9.43,在Pb—Pb图上处于下地壳位置,铅主要来源于下地壳。河海石英脉型矿床属此。

区内混合岩、伟晶岩中的长石铅与高村矿床矿石铅相近,多属于上地壳铅。11个样 $\mu$ 值平均为9.78。然而云娄岗岩体的长石铅( $\mu=9.61$ )则于上述第2类矿石铅相似,这反映了二者之间的成因联系,同时也暗示了云娄岗岩体可能不是简单的原地重熔,而有下地壳物质的加入,可能部分为深熔异地侵入。

总之,河台金矿蚀变糜棱岩型金矿铅同位素高 $\mu$ 值,具上地壳(围岩)铅和下地壳(基

表 4 河台金矿田铅同位素组成特点  
Table 4 Sotope components dnci relative referenci data in Hetai gold orefield

矿床	高村矿床	云西矿床	太平顶	后辽	河海					
矿物	黄铁矿 方铅矿 方解石 黄铁矿 磁黄铁矿 方解石 黄铁矿 磁黄铁矿 黄铁矿 黄铁矿	18.144— 19.252	18.770 18.924	18.846— 18.848	18.04— 18.342	18.139 18.833	18.742— 18.833	18.168— 18.651	18.052 18.174	17.236— 18.344
$Pb^{208}/Pb^{204}$	15.601— 15.778	15.740 15.862	15.700— 15.741	15.722— 15.767	15.579— 15.693	15.566 15.706	15.670— 15.706	15.639— 15.725	15.589 15.628	15.394— 15.602
$Pb^{207}/Pb^{204}$	38.109— 39.526	39.278 39.608	38.963— 39.138	39.105— 39.134	37.965— 38.524	38.235 39.056	38.959— 39.056	38.316— 38.945	38.110 38.346	37.443— 38.520
$\rho$	0.549— 0.601	0.579 0.576	0.569— 0.574	0.568— 0.569	0.592— 0.607	0.597 0.573	0.566— 0.573	0.581— 0.603	0.605 0.602	0.587— 0.643
$t$ ( $\times 106$ 年)	—257.5 —360.9	81.6 118.7	7.2— 62.2	—10.8 —4.0	274.1— 427.4	322.1 —	—27.6 —47.5	148.2— 388.5	412.2 371.3	413.7— 767.4
$\mu$	9.56— 9.85	9.82 9.93	9.74— 9.82	974— 977	9.59— 9.81	9.55 9.75	9.71— 9.75	9.69— 9.81	9.61 9.64	9.32— 9.59

据叶伯丹、符力和本文资料综合

底)铅与区内的浅—深熔花岗岩浆侵入有关。石英脉型金矿为低 $\mu$ 值,(平均9.43),主要为下地壳铅,与区内的深源花岗岩体侵入有关。

#### 4.3 包体水氢、氧同位素特点与成矿水的来源

金矿石的共生石英之包体水 $\delta^{18}\text{O}$ 水为 $-3.4\%$ — $+5.1\%$ , $\delta\text{D}$ 水在糜棱岩型金矿中为 $-90.7\%$ — $-54.0\%$ ,而在石英脉型金矿中为 $-94.3\%$ — $-91.0\%$ 。蚀变糜棱岩型金矿 $\delta\text{D}$ 水变化大可能反映了其多期成矿特点。在 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 图上,各矿床绝大多数样品落在岩浆水与大气降水之间的混合水位置。

成矿期后方解石包体的 $\delta\text{O}^{18}$ 水为 $-4.6\%$ — $-1.6\%$ , $\delta\text{D}$ 为 $-62.2\%$ — $-36.4\%$ ,均属混合水范围且比早期石英包体水更接近于大气水,这正好反映了成矿晚期流体向大气水演化的特点。

### 5 河台金矿形成机制和成矿模式

河台金矿的形成是区内经历长期构造岩浆活动演化的结果。

矿区内主要含矿围岩震旦系C组变质岩原岩为一套含中基、中酸性火山碎屑岩的类复理石建造。其金含量在矿区外围为 $12.4\times 10^{-9}\text{g/g}$ <sup>①</sup>,高出金的克拉克值( $1.7\times 10^{-9}$ )近5倍。震旦系C组可能为提供金的矿源层之一。

海西期以来,吴川—四会和罗定—广宁二大断裂变质带经历了多期次活动,从而使区内发生了多期次改造和重组。在断裂变质—超变质和韧性剪切、重(同)熔中酸性岩浆侵入等一系列地质热事件中,金得以多期次活化迁移富集。

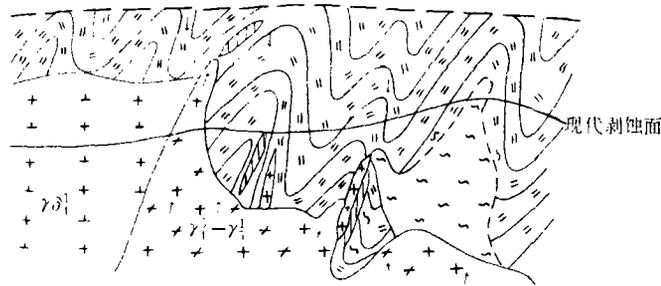
海西晚期—印支期,由于区内断裂变质作用的发展,先后形成了各种断裂变质岩、断裂混合岩(278—224Ma,叶伯丹)和深源或浅—深熔侵入体(242—209Ma,据伍广宇、叶伯丹,其中伍村深源岩体233Ma)以及它们的派生产物花岗质伟晶岩(224—194Ma,叶伯丹)。这一系列强烈的变质超变质作用和岩浆活动驱动着金进入残留的绿片岩相,部分进入岩浆晚期含矿热液。与成矿有关的岩浆是深熔或同熔岩浆,根据前述矿床的稳定同位素分析资料,其可能从下地壳基底带来了部分金,同时,在上侵过程中亦可同化围岩中的金,而且其期后成矿流体在迁移过程中与下降地下水混合形成的混合水亦可淬取变质围岩中已有初步富集的金。含矿流体将金带至岩体附近的变质围岩内的脆性剪切带中成矿,形成早期石英脉型金矿床。

燕山早期,区内经历了以塑性变形为特征的韧性剪切作用(190—173Ma,据符力奋等)。在流体和剪切应力作用下,金在韧性剪切过程中可能具一定的富集,并在某些地段地先前形成的石英脉金矿进行改造,使其发生糜棱岩化。燕山晚期,随着韧性剪切向脆性剪切转换,新一期的重熔中酸性岩体侵入。如在仙口有158.4Ma(K—Ar法,广东719队的斜长花岗岩,都权、铍有125—140Ma(U—Pb、K—Ar法)二长花岗岩。区内的环形构造可能为隐伏的燕山期花岗岩体的反映。在岩浆热液作用下,金随着成矿热液被带至扩容带——糜棱岩体中富集成矿,形成蚀变糜棱岩型金矿。据陈好寿等资料<sup>[7]</sup>,蚀变糜棱岩型金矿共生石英包体流体Rb—Sr等时线年龄(即成矿年龄)为121.9—129.6Ma,主体成矿期明显晚于糜棱岩,相当于燕

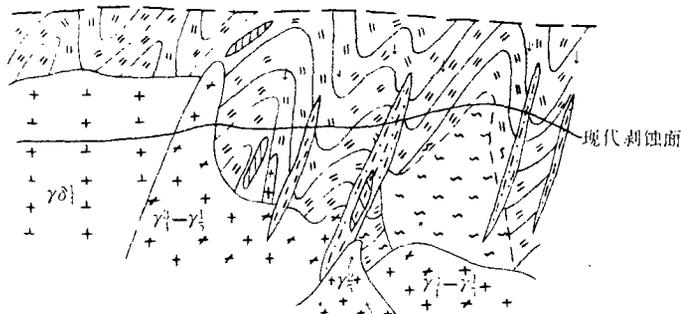
① 陆建军. 广东清远—肇庆地区金矿带的构造分析、成矿时代和矿床成因研究, 南京大学博士学位论文. 1988.

表 5 河台金矿田表格式成矿模式  
Table 5 Form of mufallogenic model of Hetai gold orefield

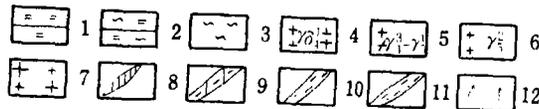
区域地质背景	位于华南褶皱系云开隆起带的东北部, 罗定广宁断裂带东北段与昆川—四会断裂带交汇处, 区域上广布震旦系—志留系绿片岩—角闪岩相变质岩, 其中震旦系—泥盆系多处金矿化, 区域上中酸、酸性岩浆活动强烈, 主要为深源和深熔, 时代有加里东、海西、印支、燕山等期, 海西以来十分强烈	
矿床地层	矿田东段赋矿地层为震旦系 C 组二云母石英片岩和混合岩片岩、混合岩, 西段有震旦系 C 组和寒武系八村群云母片岩、石英片岩、变质石英砂岩	
成矿岩体	主要为印支—海西和燕山期酸性岩体, 前者与河海式石英脉型金矿有关, 后者与高村式蚀变糜棱岩型金矿有关	
控矿构造	NEE 向(50°—70°)韧、脆性剪切构造控制了矿体分布, 蚀变糜棱岩型金矿一般产于离成矿岩体 1—2km 以内的较大的糜棱岩体内, 石英脉型金矿产于脆性剪切带中	蚀变糜棱岩型(高村式)
矿床组合及分布	石英脉型(河海式)	位于糜棱岩体内, 云楼岗杂岩体以南, 走向 NEE, 倾向 NW, 围岩为片岩的糜棱岩体成矿更有利
矿石类型及矿物组合	含金硫化物石英脉型矿石, 主要矿物组合: 石英—黄铁矿—黄铜矿—磁黄铁矿—自然金—金铂矿	矿石类型: ①金属硫化物矿化糜棱岩型; ②硅化糜棱岩型; ③硅化岩型; ④金属硫化物矿物组合: 石英—绢云母—黄铁矿—黄铜矿—磁黄铁矿、菱铁矿—长石—自然金
矿石结构构造	金属硫化物: 它形细粒 自然金: 间隙、裂隙金、包裹金 矿石构造: 浸染状、碎裂角砾状、斑杂状	金属硫化物: 它形微—细粒 自然金: 包裹金、间隙金、裂隙金 矿石构造: 细—网脉状、浸染状及团块状
矿化期阶段	①石英阶段; ②金—铁铜硫化物阶段; ③硫化物—硫酸盐阶段	部分经历了早热液期, 主要经历同韧性剪切成矿期和晚热液成矿期, 分工期 4 阶段。成矿主要在晚硅化岩期
矿化蚀变分带	矿内带: 黄铁矿—黄铜矿—磁黄铁矿—黄铁矿—黄铜矿—磁黄铁矿—菱铁矿—方铅矿—方解石 矿外带: 闪锌矿—方铅矿—方解石 中上部为硅化和金属硫化物矿化, 下部为金属硫化物矿化	矿内带: 硅化、黄铁矿—黄铜矿—磁黄铁矿—菱铁矿—方解石 矿外带: 闪锌矿—方铅矿—方解石 中上部为硅化和金属硫化物矿化, 下部为金属硫化物矿化
成矿物理化学条件	成矿温度: 200—399℃ 河海矿床为 235—245℃ $fO_2 10^{-38.5}$ 成矿压力: $680 \times 10^6 - 810 \times 10^6 Pa$ , 气相 $CO_2, CO$ 低 $R < 1$ , 液相 $\frac{Na^+ + K^+}{Mg^{2+} + Ca^{2+}}$ 高	成矿温度: 215—360℃, 主体温度 250—290℃ $pH 4.53 - 5.6$ , 弱酸性 $fO_2 10^{-39.5} - 10^{-32.5}$ 成矿压力: $573.3 \times 10^5 - 1033 \times 10^5 Pa$ , 气相 $CO_2, CO$ 高, $R > 1$ , 液相 $\frac{Na^+ + K^+}{Mg^{2+} + Ca^{2+}}$ 高
稳定同位素成份及矿床来源	$\delta^{34}S$ : 铁铜硫化物—4.0%—4.0%, $\delta^{34}SSS$ —4.0%—1.2%, 为均一化的岩浆源; $\delta D$ : -94.3‰—-54.0‰, $\delta^{18}O$ 水: -3.4‰—-5.0‰, 为岩浆—大气混合水 铅同位素: 多源非均一化, 高村矿床以上地壳铅为主, 石英脉型矿床以深源铅为主, 其它矿床为混合铅源。	
控矿因素	①NEE 向脆性、韧性断裂; ②较大规模的糜棱岩体; ③富金的震旦系—寒武系; ④海西—印支燕山多期岩浆活动	
地质找矿标志	①较大规模的糜棱岩体; ②NEE 向石英脉; ③卫片上环形构造影象; ④金属硫化物矿化; ⑤糜棱岩体中的硅化体	



1 海西晚期—印支期 (石英脉型金矿形成期)



2 燕山期 (蚀变糜棱岩金矿形成期)



河台金矿成矿模式图

Fig. Metallogenetic model map of Hetai gold deposit

1—片岩(Schist); 2—混合岩化片岩(Migmatized schist); 3—混合岩(Migmatite); 4—海西期花岗岩(Granite of Hercynian period); 5—海西期—印支期斜长花岗岩(Plagiogranite of Hercynian); 6—燕山期二长花岗岩(Adamellite of Yanshan); 7—花岗伟晶岩(Granite Pegmatite period); 8—石英脉及其矿体(Quartz vein and ore body); 9—糜化石英脉(Mylonitized quartz vein); 10—糜棱岩(Mylonite); 11—糜棱岩型矿体(Mylonitic type of ore body); 12—成矿流体运移方向(Migratory direction of ore-forming fluid)

山晚期。在形成蚀变糜棱岩金矿过程中，金主要来源于被重(同)熔的震旦系—寒武系围岩，部分来源于下地壳基底。大气降水参与了成矿作用。

综合矿田内二种类型金矿床地质特征，矿床地球化学特征和矿床成因机制的分析。可总结出河台金矿田图解式和表格式成矿模式(图和表5)。

5 参考文献

- 1 张志兰等. 广东河台金矿的硫、铅同位素特征. 广东地质, 1989, (1).
- 2 戴爱华, 王鹤年. 河台金矿形成机制的实验研究. 中国地质科学院南京矿产地质研究所所刊, 1988, (3).
- 3 朱义年, 刘成湛. 广东河台金矿床成矿过程的地球化学研究. 桂林冶金地质学院学报, 1990, (8).
- 4 L. S. Hollister 等著, 芮宗瑶、沈昆等译. 流体包裹体在岩石学和矿床学中的应用. 地质出版社, 1986.
- 5 李秉伦, 石岗. 矿物中包裹体成分的物理化学参数计算. 地球化学, 1986, (2).
- 6 Doe B. R., Zartman R. E. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposit* Hohn Wiley and Sons 1979
- 7 陈好寿, 李华芹. 云开隆起金矿带流体包裹体 Rb-Sr 等时线年龄. 矿床地质, 1991, (4).

## GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY STUDY AND METALLOGENIC MODEXL RESEARCH OF HETAI GOLD PROVINCE

Ye Jinhua Qiu Xiaoping

(*Minerogenetic prospect district division, CAGS*)

### Abstract

There are 2 types of gold deposits—the quartz—vein depcsit and alteratic mylonite deposit in Hetai Gold Province. Gelolgy and geochemistry research show: the quartz—vein gold deposits which were formed earlier than the forming of ductile shear zone in the area are relevant to Variscan—Tndosinian acid magmatism, But the alteratic mylonite gold deposits which were mainly formed latter than the dectile shear zone are relevant to the Yanshanian acid magmatism. All the deposits in the province belong to mesothermal deposits. The minero-genic depth is from 2 to 3 kilemeter. The source of the gold is mainly from country rock but some gold is probably from foundation bed.

**Key word** Hetai gold deposit geochemistry metallogenic model

**作者简介** 叶锦华 男, 1961 年出生, 1982 年毕业于合肥工业大学, 1989 年毕业于中国地质科学院研究生部, 现从事矿床地质研究工作。通讯地址: 北京百万庄 26 号中国地质科学院; 邮政编码: 100037。