

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

# 广东新洲金矿流体包裹体和 稳定同位素研究

涂绍雄 高艳君

(中国地质科学院宜昌地质矿产研究所)



新洲金矿主要属石英脉型矿床, 矿脉赋存在震旦纪变质岩中。金的成矿作用分两个阶段: 早阶段金与毒砂、黄铁矿共生, 晚阶段与含铜、铋、铅、铋的矿物共生。流体包裹体研究表明: 两阶段成矿温度分别在310—240℃和180—140℃范围内, 盐度很低(1.5—9.0wt%NaCl), 成矿溶液中钠、钙、氯和CO<sub>2</sub>含量相对较高。稳定同位素研究表明: 矿石铅同位素组成计算的 $\mu$ 值高( $\mu=9.35-9.75$ ),  $\delta^{34}\text{S}$ 在12.08—13.56‰范围内, 脉石英 $\delta^{18}\text{O}$ 和 $\delta\text{D}$ 值分别为14.80—19.42‰和-51.4—-56.5‰。初步认为, 本矿床属浅成中低温变质-混合岩化热液矿床。

新洲金矿位于广东英德县与清远县交界处, 与西南面的河台金矿相距100余公里, 主要为石英脉型金矿, 该矿床成因和形成条件前人尚无明确看法, 本文提供流体包裹体和稳定同位素方面的初步研究资料, 并对其成因和形成条件作初步讨论。

## 一、矿床地质特征

新洲矿区出露的地层主要是震旦系变质岩及泥盆系桂头组(图1)。震旦系根据岩性组成可分上、下两个岩性段: 下段(Z<sup>1</sup>)分布于矿区东部(F<sub>1</sub>断层以东), 岩性为二云长英片岩和黑云石英片岩; 上段(Z<sup>2</sup>)分布于西部及西北部, 岩性以黑云石英片岩为主, 夹二云长英片岩、钠长绿泥石英片岩, 中上部还夹有石英钠长岩和大理岩透镜体。

泥盆系中统(D<sub>2g</sub>)分布于矿区西北部, 岩性主要为石英质砂岩、粉砂岩夹千枚岩, 底部偶尔见含砾砂岩。该组与下伏震旦系呈不整合接触, 不整合面上大体为一套粉红色、具条带状构造的疏松层, 厚2—20m(图1)。

矿区东南角出露燕山期花岗岩, 岩性为中—粗粒斑状黑云母花岗岩, 属巨大的佛岗花岗岩基的西缘部分。该岩体与震旦系呈断层接触, 与金成矿的关系尚未进行详细研究。

矿区东部震旦系构成一东西向的倾伏向形褶皱, 轴向270°±10°, 东端翘起, 向西倾伏, 两翼倾角一般20°—30°。矿区西部震旦系与泥盆系共同构成规模不一的数个近南北向背、向斜复式褶皱, 轴向350°±10°, 两翼倾角中等(图1)。

矿区已编号的金矿化带共有10条, 其中较大的有5条, 产状各不相同。

最主要的I号矿带长达2000m, 位于向形褶皱北翼, 走向近东西, 倾向南偏西, 靠近转折端倾角较缓(25°—40°), 远离转折端较陡(40°—60°)。II, III, IV号矿带均位于向形褶皱的转折部位, 长250—550m不等, 产状随向形褶皱转折作相应的变化(图1)。V号矿带位于矿区西部,

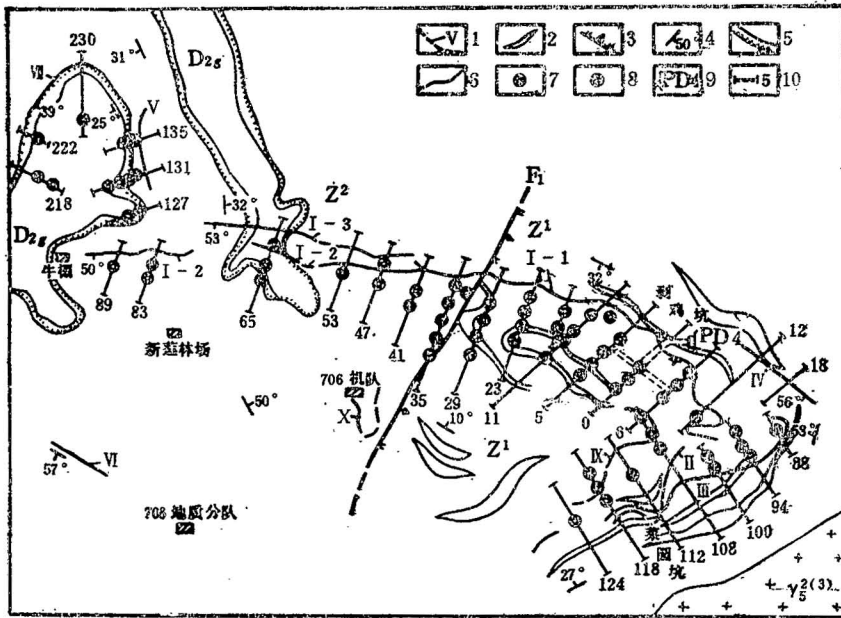


图 1 新洲金矿地质图

Fig. 1 Schematic geological map of Xinzhou gold ore district  
(据广东省地质矿产局706地质队)

(after Geological Team No. 706, Geology Bureau, Guangdong Province)

D<sub>2g</sub>—泥盆系中统桂头组；Z<sup>2</sup>—震旦系上段；Z<sup>1</sup>—震旦系下段；γ<sub>5</sub><sup>(3)</sup>—燕山第三期花岗岩类侵入体；1—含金石英脉；2—二云母长英片岩；3—正断层；4—叶理或矿脉产状；5—不整合及其上疏松层；6—地质界线；7—见矿钻孔；8—未见矿钻孔；9—平硐及编号；10—勘探线及编号

D<sub>2g</sub>—Middle Devonian Guitou Formation; Z<sup>2</sup>—Sinian:Upper Member; Z<sup>1</sup>—Sinian:Lower Member; γ<sub>5</sub><sup>(3)</sup>—third Yenshan Episode granitic intrusion. 1—gold-bearing quartz veins; 2—two mica quartzo-feldspathic schist; 3—normal fault; 4—foliation or ore-vein occurrence; 5—unconformity and upper unconsolidated rocks; 6—geological boundary; 7—drill hole of detected orebody; 8—drill hole of undetected orebody; 9—gallery and numbering; 10—prospecting line and numbering

走向近南北，倾向西，倾角50°左右，沿走向延长约330m。

从矿化类型来看，I至IV号矿带均以石英脉型为主，矿石为含金富硫化物石英脉，但在脉两旁尚有部分含金硫化物蚀变岩型矿石。V号矿带为蚀变构造岩型，矿石主要是碎裂钠长石化含金硅化岩。

## 二、矿石主要特征

主要对I号矿带含金富硫化物石英脉矿石类型作了初步研究，将其划分为三个成矿阶段：

(1) 金-毒砂-黄铁矿阶段；(2) 金-多金属硫化物阶段；(3) 碳酸盐阶段。其中金的成矿主要发生在前两个阶段。

矿石矿物主要有黄铁矿、毒砂、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、自然金。此外，还发现了辉铋矿、自然铋、锑铋矿(?)、砷铋铅矿(?)、硫锑铅矿、银黝铜矿、银金矿等。脉石矿物主要是石英、其次有少量白云母、黑云母、绿泥石、绿帘石、钠长石、钾长石以及碳酸盐矿物等，这些矿物也是蚀变围岩的重要矿物。

根据镜下对矿化石英脉的观察，脉石英均呈外形不一、大小悬殊的粒状镶嵌体。单个石英大

者1—5mm,小者0.2—0.5mm,具强波状消光,个别见贝姆纹,表明石英脉形成后曾受到强烈应变。此外,这种石英脉中还较普遍地见到碎裂化细脉,有时细脉纵横交错,构成网脉。其中石英都被碾碎成细小颗粒,含破碎轻微的亚颗粒。脉中主要金属矿物黄铁矿和毒砂晶体也都有破碎现象,并产生许多裂纹。部分破碎成细碎晶体和粉尘,充填于碎裂纹中的细粒石英粒间。

据光片观察,黄铁矿和毒砂都有两个世代。早世代的黄铁矿和毒砂多为自形和半自形的粗粒晶体,黄铁矿晶形一般为立方体,少数为五角十二面体,毒砂则常见矩形、菱形和假六方形横切面。晶体均多裂纹,并有压碎现象。晚世代的黄铁矿和毒砂多为他形细粒状,部分黄铁矿可重结晶为完好的小立方体,沿石英及早世代的黄铁矿和毒砂裂隙充填。同时,裂隙中尚有许多铜、铋、铅、锑的硫化物以及自然金银金矿、自然铋等,与晚世代的黄铁矿和毒砂共生。

此外,光、薄片中都常见到碳酸盐脉穿切石英脉,并切过碎裂化细脉的现象。因此,碳酸盐脉为成矿最后阶段的产物。

### 三、矿床流体包裹体研究

对I号矿带含金富硫化物石英脉,脉旁碎裂蚀变带中的无矿石英脉透镜体以及远离主矿脉的无矿石英脉分别进行了流体包裹体研究。结果如下:

#### 1. 包裹体特征

含金富硫化物石英脉中的流体包裹体有二种类型:一类是无气泡或含少量气泡的富 $H_2O$ 包裹体,其数量最多,约占包裹体总数的70—90%。它们的形态一般不规则,少数较规则,可见负晶形、短柱状。直径一般3—5 $\mu m$ ,少数7—10 $\mu m$ ,个别达20 $\mu m$ 。其气液比一般为0—10%,少数达20—30%。这类包裹体常沿裂隙分布或杂乱分布,密集而相互重叠。其成因多半是次生的,仅少数形态较规则者可能为原生。

另外两类是富 $CO_2$ 包裹体(图版I—a)和 $H_2O-CO_2$ 混合型包裹体,它们数量都较少,分别占包裹体总数的20%±和10%±。这两类包裹体的形态均较规则且极小,一般 $<3\mu m$ 。 $H_2O$ 和 $CO_2$ 的相的比值变化较大,可从不含 $H_2O$ 的“干” $CO_2$ 包裹体到 $CO_2$ 占10—40%的包裹体。其成因多半是原生的。

上述包裹体的类型和数量与其产状密切相关。石英脉中未破碎的块状石英以富 $CO_2$ 包裹体占优势,约占其中包裹体总数的70%±,富 $H_2O$ 及 $H_2O-CO_2$ 包裹体分别占20%±和10%±,而石英脉中重结晶的细粒石英则以富 $H_2O$ 包裹体占优势,约占其中包裹体总数的80%±,其次为 $H_2O-CO_2$ 型,富 $CO_2$ 包裹体极少。

富 $H_2O$ 包裹体的相比也与其产状有一定的关系。镜下观察到,块状石英中的富 $H_2O$ 包裹体气泡多且大,而重结晶石英中的富 $H_2O$ 包裹体绝大部分无气泡或仅有一个小气泡(气相 $<5\%$ )。

另外,穿切含金富硫化物石英脉的后期碳酸盐细脉,常含原生富 $H_2O$ 包裹体,其中仅有少数有气泡(5—10%),未见富 $CO_2$ 包裹体。

脉旁碎裂蚀变带中的石英脉透镜体是成矿前更早阶段的石英脉经挤压拉断而成,一般不含金属矿物。其中包裹体均为两相气液包裹体(图版I—b)。经研究发现包裹体类型、形状、大小、分布、组成相态和相比等均大致与上述含金富硫化物石英脉中所见相似。

远离主矿脉的石英脉,亦是成矿前更早阶段的石英脉且不含金属矿物,一般在变质岩层中呈整合状产出。其石英波状消光微弱,表明未受强烈应变。这种石英脉中的包裹体可见四类:(1)含 $NaCl$ 子晶的多相包裹体(图版I—c),约占10%;(2)富 $CO_2$ 包裹体,约占50%;(3)富 $H_2O$ 包裹体,约占40%;(4)上述三种或二种混合型包裹体,少量。

这些包裹体的特点是：包裹体体积较大，一般 10—20 $\mu\text{m}$ ；常呈石英的负晶形、椭圆形或不规则形；相组成及相比变化较大， $\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{CO}_2$ 的比例往往是任意的，均可由 $n\%$ 到 100%；气相一般小于 10%，也可没有气泡； $\text{NaCl}$ 子晶一般占 10% $\pm$ 。其中富 $\text{H}_2\text{O}$ 包裹体常沿裂隙分布或均匀分布，明显属次生成因，而 $\text{NaCl}$ 子晶及富 $\text{CO}_2$ 包裹体常分别成群分布，多半属原生或假次生成因。

## 2. 均一温度和盐度

测得 9 个含金富硫化物石英脉样品中石英的 143 个包裹体的结果，表明主要有两个温度范围：与未破碎的块状石英有关的含少量 $\text{CO}_2$ 的富 $\text{H}_2\text{O}$ 包裹体，其均一温度都  $>220^\circ\text{C}$ ，一般在 310—240 $^\circ\text{C}$  范围内；与破碎重结晶细粒石英有关的基本不含  $\text{CO}_2$  的富  $\text{H}_2\text{O}$  包裹体，其均一温度都  $<220^\circ\text{C}$ ，一般为 220—80 $^\circ\text{C}$ ，以 180—140 $^\circ\text{C}$  最为集中（图 2a）。

由于含金富硫化物石英脉中流体包裹体体积都太小，其盐度测定值仅具参考价值。所测定的盐度值一般都属于基本不含 $\text{CO}_2$ 的富 $\text{H}_2\text{O}$ 包裹体，大致在 1.5—9.0wt%  $\text{NaCl}$  之间，即与海水的盐度值相当或略高于海水，最低可近于纯水，最高可达 12.0wt%  $\text{NaCl}$ 。富 $\text{CO}_2$ 包裹体一般在 +21—+26 $^\circ\text{C}$  时均一成液相。

脉旁碎裂蚀变带内石英脉透镜体中基本不含  $\text{CO}_2$  的富  $\text{H}_2\text{O}$  包裹体之均一温度一般在 180—100 $^\circ\text{C}$  范围内，而含少量  $\text{CO}_2$  的富  $\text{H}_2\text{O}$  包裹体之均一温度达 280 $^\circ\text{C}$ （图 2b）。与上述含金富硫化物石英脉大体一致，二者的盐度也十分相似。但这种透镜体中的富  $\text{CO}_2$  包裹体，一般在 +24—+14.5 $^\circ\text{C}$  时均一为液相，且负值较多。

远离主矿脉的石英脉中的富 $\text{H}_2\text{O}$ 包裹体，其均一温度为 210—90 $^\circ\text{C}$ ，而含 $\text{NaCl}$ 子晶包裹体之

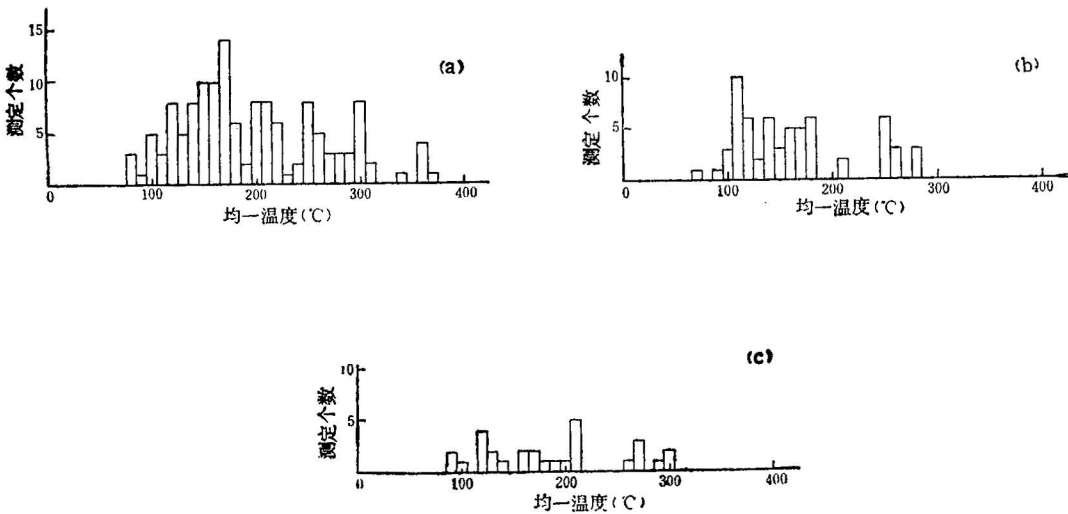


图 2 新洲金矿不同石英脉中流体包裹体均一温度直方图

Fig. 2 Histograms of homogenization temperatures of fluid inclusions in quartz of various quartz-veins from Xinzhou gold deposit

- (a) 含金富硫化物石英脉；(b) 主矿脉旁蚀变围岩中的无矿石英透镜体；(c) 远离主矿脉的成矿前无矿石英脉  
(a) Gold-bearing quartz veins; (b) ore-free quartz lenticle occurring in altered wall beside gold-bearing quartz veins; (c) premineral ore-free quartz veins

均一温度却可从 110 $^\circ\text{C}$  延续到 300 $^\circ\text{C}$ （图 2c）。这类包裹体的盐度范围也较宽，可从近于纯水直到含 $\text{NaCl}$ 过饱和（4—34wt%  $\text{NaCl}$ ）。富 $\text{CO}_2$ 包裹体中之气相 $\text{CO}_2$ 在 +5.6—+3.7 $^\circ\text{C}$  均一成液相。这些特点都明显与含金富硫化物石英脉不同。

### 3. 包裹体成分

采用热爆-超声波提取法打开石英中的流体包裹体,测定了其中主要阳离子、阴离子、 $H_2O$ 和 $CO_2$ 的成分(表1)。由于该方法是一种破坏性测定方法,导致不同阶段的热液混合在一起,故只能大体反映各阶段热液的总体特征。

表 1 新洲金矿含金石英脉中石英流体包裹体的成分分析资料 (ppm)<sup>①</sup>  
Table 1 Composition data (ppm) of the fluid inclusion in quartz of  
gold-bearing quartz veins from xinzhou gold deposit

样 号	X73	X74	X75	X44	X11-6 <sup>②</sup>
Li <sup>+</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na <sup>+</sup>	0.74	1.63	0.89	0.02	1.41
K <sup>+</sup>	0.25	1.74	0.42	0.17	0.75
Ca <sup>2+</sup>	0.21	0.79	0.64	0.14	0.50
Mg <sup>2+</sup>	0.03	0.12	0.08	0.03	0.08
F <sup>-</sup>	0.00	0.08	0.00	0.28	0.13
Cl <sup>-</sup>	2.05	1.91	2.50	0.24	2.50
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	未测	未测	未测	未测	未测
H <sub>2</sub> O	1275	1400	1400	1030	1020
CO <sub>2</sub>	80	60	85.3	32	32
pH	7.20	7.20	7.20	7.15	7.20
电导 μΩ/cm	0.41×10	0.42×10	0.45×10	0.28×10	0.42×10
Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>	2.96	0.94	2.12	1.29	1.88
Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup>	7.00	6.58	8.00	4.67	6.25
F <sup>-</sup> /Cl <sup>-</sup>	0.00	0.042	0.00	0.167	0.052
CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> O	0.063	0.043	0.061	0.031	0.031

测定者: 本所包裹体组

① 阳离子用日立180-80型原子吸收分光光度仪测定,阴离子用日立220型分光光度仪测定。

② X11-6取自成矿前无矿石英脉。

③ Cations are determined by using Hitach 180-80 type atomic absorption spectrophotometer; anions are determined by using Hitach 220 type spectrophotometer.

④ X11-6 is from premineral ore-free quartz vein.

总的看来,本矿区石英脉中流体包裹体的阴、阳离子含量都较低,反映成矿溶液的盐度较低,与前述研究结果一致;另一方面,从元素和化合物的比值来看,含金富硫化物石英脉与成矿前无矿石英脉相比,前者的 $Na^+/K^+$ ,  $Ca^{2+}/Mg^{2+}$ 和 $CO_2/H_2O$ 值较高,  $F^-/Cl^-$ 值较低。这表明在成矿溶液中,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $CO_2$ 和 $Cl^-$ 含量高对金的成矿是较为有利的。同时,在成矿溶液中,一般 $Na^+ > K^+ > Ca^{2+} \gg Mg^{2+}$ ,  $Cl^- \gg F^-$ ,未测出 $HCO_3^-$ ,表明成矿溶液中 $Cl^-$ 和 $Na^+$ 起着主要作用,金可能主要呈氯的络合物形式搬运。

### 四、矿石稳定同位素研究

为了查明新洲金矿成矿物质来源和成矿溶液性质,对I号矿带的含金富硫化物石英脉矿石类型作了少量硫、铅、氧、氢同位素分析。结果如下:

## 1. 硫、铅同位素特征

作硫、铅同位素的硫化物样品(毒砂和黄铁矿)均采自I号矿带东部PD4坑道的矿化石英脉,并主要是粗晶的毒砂和黄铁矿,应为第一世代。结果见表2。

表2 新洲金矿含金石英脉中矿石矿物的硫及铅同位素组成

Table 2 Sulfur and lead isotope composition of the ore mineral in the gold-bearing quartz veins from xinzhou gold deposit

样号	矿物	$\delta^{34}\text{S}$ (%)	铅同位素组成			模式年龄		源区特征	
			$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\phi$	年龄值 (Ma)	$\mu$	$\omega$
X27	毒砂	12.85							
X32	毒砂	12.08	18.836 ± 0.005	15.787 ± 0.02	39.301 ± 0.02	0.57645	85	9.41	39.58
X63	毒砂	12.96	19.056 ± 0.01	15.972 ± 0.01	39.884 ± 0.04	0.58242	157	9.75	42.54
X73	毒砂	12.94							
X74	毒砂	12.89	18.861 ± 0.04	15.774 ± 0.04	39.646 ± 0.08	0.57358	54	9.35	40.71
X80*	毒砂	12.19	18.662 ± 0.1	16.169 ± 0.5	40.217 ± 0.4	0.62801	630	10.13	48.04
X56	黄铁矿	13.08	18.920 ± 0.03	15.841 ± 0.03	39.520 ± 0.05	0.57703	95	9.51	40.54
X63	黄铁矿	13.56							
X73	黄铁矿	13.02							
X74	黄铁矿	13.26	19.041 ± 0.06	15.965 ± 0.02	39.949 ± 0.08	0.58260	160	9.73	42.83

测定者: 本所同位素实验室

注: X80铅同位素组成误差较大, 仅供参考(测试单位原注)。

Measured Pb isotope compositions for X80 sample have low precision and are given a reference.

该世代的毒砂和黄铁矿, 其 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围较窄, 分别在12.08—12.94‰和13.02—13.56‰之间, 平均值分别为12.65‰和13.23‰。与国内其它某些变质岩区大金矿(如夹皮沟金矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值主要在2.3—9.8‰之间, 小秦岭金矿主要在0.5—6.4‰之间)相比, 本区矿石硫同位素 $\delta^{34}\text{S}$ 值明显偏高, 其重硫成分高于陨硫甚多, 表明矿石主要形成于低氧逸度条件下, 并来源于沉积物质。

同类矿物的铅同位素组成研究表明,  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在18.836—19.056之间,  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在15.774—15.972之间,  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 在39.301—39.949之间(表2)。将这些数值分别投影到 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ — $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 图上(图3), 并按B. B. Doe<sup>[1]</sup>的最新参数计算出模式年龄值及反映来源特征的 $\mu$ 和 $\omega$ 值。结果表明: (1) 在投影图上它们均位于零等时线右侧, 模式年龄在54—160Ma之间, 属正常铅, 形成时代属燕山晚期, 大致在晚侏罗世至白垩纪范围内; (2) 在投影图上均位于上地壳平均演化曲线之上,  $\mu$ 值和 $\omega$ 值均很高, 分别在9.35—9.75和39.58—42.83范围内, 明显来源于上地壳。

图3还标出了本矿西南方向河台大型金矿的部分矿石铅同位素组成数据以兹对比, 表明河台金矿有较多的异常铅(模式年龄为负值)且来源较深(上地壳与岛弧混合铅)。

## 2. 氧、氢同位素组成

对I号含金富硫化物石英脉的部分石英样品以及远离主矿脉的石英脉中的一个石英样品进行了氧、氢同位素分析(表3)。结果表明, 矿脉中石英的 $\delta^{18}\text{O}$ 值都在14.80—19.42‰之间, 石英包裹体中 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值都在-51.4—-56.5‰之间, 即它们的范围都很窄。根据 $1000\ln\alpha_{\text{石英-水}} = 3.05 \times 10^6 T^{-2} - 2.09$ 公式(Mattews, 1979)<sup>[2]</sup>计算了 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值, 计算时分别应用了块状石英和破碎重结晶石英中的富 $\text{H}_2\text{O}$ 包裹体均一温度(峰值), 将结果投影到 $\delta\text{D}$ — $\delta^{18}\text{O}$ 图上(图4)。可以看出, 块状

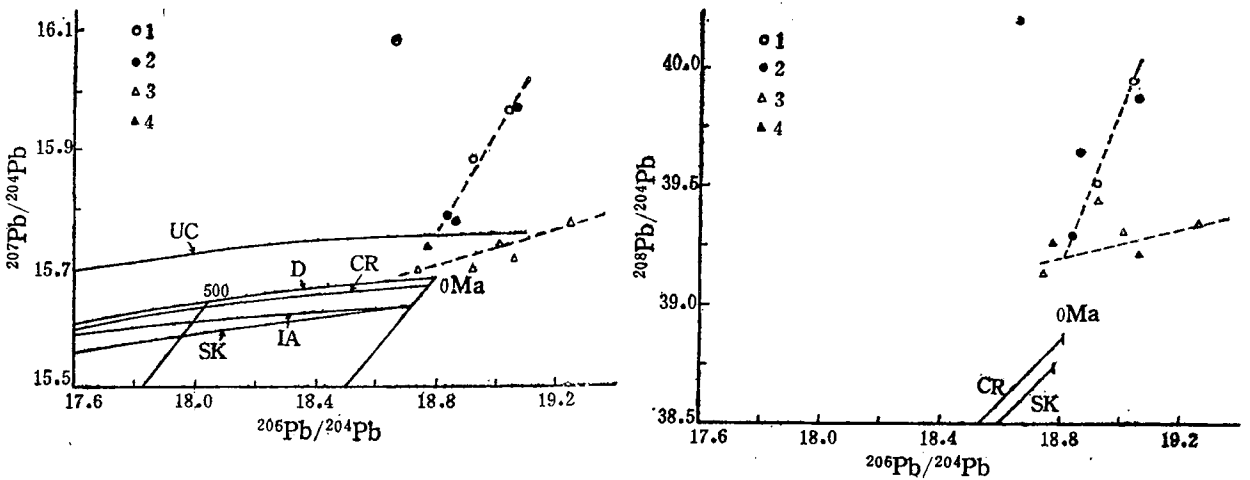


图3 新洲金矿含金富硫化物石英脉矿石铅同位素组成图解

Fig. 3  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs.  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  and  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  vs.  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  plots for the Xinzhou gold deposit

1—黄铁矿；2—毒砂；河台对比资料；3—黄铁矿；4—黄铜矿；UC—上地壳铅平均演化曲线；D—Doe阶段演化曲线；CR—“V”值线性增加演化曲线；SK—两阶段演化曲线；IA—岛弧铅演化曲线  
 1—pyrite；2—arsenopyrite；comparative data from Hetai gold deposit；3—pyrite，4—chalcopyrite. UC—mean lead isotope evolution curve of the upper crust；D—Doe single stage evolution curve；CR—linearly increased “V” evolution curve；IA— island arc lead isotope evolution curve

表3 新洲金矿含金石英脉中石英及其包裹体的氢、氧同位素组成 (‰)

Table 3 Hydrogen and oxygen isotope data (‰) of the quartz and their inclusion fluid in the gold-bearing quartz veins from xinzhou gold deposit

样号	矿物	矿物温度 <sup>①</sup> (℃)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ <sup>②</sup>	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$
X73	石英	250 160	16.78	7.72 2.60	-51.4
X74	石英	220 170	19.42	10.46 5.97	-51.4
X75	石英	250 150	14.80	5.74 -0.16	-56.5
X80	石英	220 150			-51.9
X44	石英		16.20		
X11-6 <sup>③</sup>	石英	300 210	11.96	4.76 0.98	

① 分别为块状石英和破碎重结晶石英中富H<sub>2</sub>O包裹体的均一温度(峰值)。  
 ② 据  $1000 \ln \delta_{\text{石英-水}} = 3.05 \times 10^6 T^{-2} - 2.09$  (Mattews, 1979) 计算。  
 ③ X11-6取自成矿前无矿石英脉，温度值分别是含NaCl子矿物的多相包裹体和富包裹H<sub>2</sub>O体的均一温度。  
 ④ Based on measured fluid inclusion temperatures of massive quartz and recrystallized fine quartz, respectively.  
 ⑤ After  $1000 \ln \delta_{\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}} = 3.05 \times 10^6 T^{-2} - 2.09$  (Mattew, 1979).  
 ⑥ X11-6 is from premineral ore-free quartz vein and the temperature values are homogenization temperatures of halite-bearing multiple phases inclusions and aqueous inclusions, respectively.

石英的样点集中地分布在被泰洛 (H. P. Taylor, 1974)<sup>[3]</sup> 给定的岩浆水和变质水重叠范围内，可以认为是一种变质-混合岩化岩浆热液水，而破碎重结晶石英的样点则显然向大气降水线靠近，表明有大气降水参与作用。

远离主矿脉的成矿前无矿石英脉中的一个石英样品 (X11-6) 未进行氢同位素测定，但根据其 $\delta^{18}\text{O}$ 值最低 (11.96‰) 判断，在这种石英脉形成过程中，大气水肯定参与了作用。

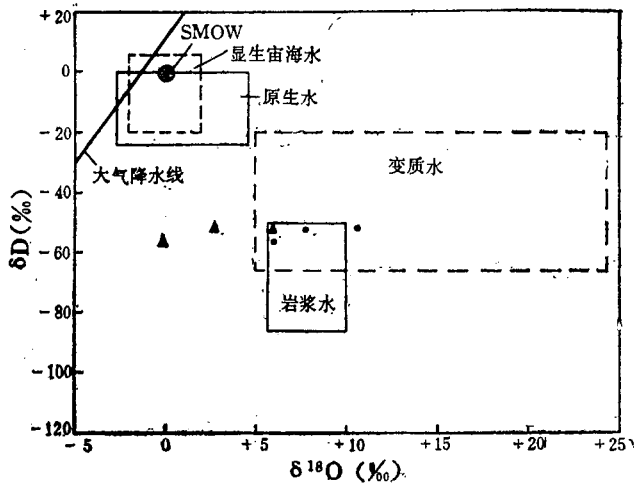


图 4 新洲金矿含金石英脉中包裹体流体的氢氧同位素图解

▲—块状石英；●—碎裂重结晶石英

Fig. 4 Hydrogen and oxygen isotope projection of fluids in inclusions for the gold-bearing from Xinzhou gold deposit quartz veins: ▲—massive quartz; ●—recrystallized fine-grained quartz

## 五、矿床成因讨论

根据对本矿床主要矿石类型（含金富硫化物石英脉）流体包裹体和稳定同位素的研究结果，并结合矿区地质背景资料，可进行矿床成因和形成条件的初步讨论。

首先，本区主要矿脉都赋存在变形震旦纪变质岩中，并受后期的近东西向层间弧形断裂控制（图1），矿床的形成时代明显晚于地层。根据铅同位素组成资料，其成矿时代可能为燕山晚期，矿质来源于上地壳。而据广东省地质矿产局 706 地质队统计，新洲及其外围震旦纪地层的金含量在 0.002—0.232ppm 之间，平均值达 0.02ppm，其背景值明显偏高。因此，震旦系可能是金的矿源层，它提供了部分金的来源。

其次，据硫同位素组成研究，矿石矿物  $\delta^{34}\text{S}$  均为正值且偏高，变化范围不大（12.08—13.56‰）。它既不同于与酸性岩浆活动和火山热液活动有关的矿床（其  $\delta^{34}\text{S}$  值在零附近），也不同于与地下水热液活动有关的矿床（ $\delta^{34}\text{S}$  多为负值），而与变质或混合岩化热液成因的矿床类似。同时，根据氢、氧同位素组成的研究，其  $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$  值刚好落在岩浆水和变质水重叠范围内（图 4）。因此，可以确定，本矿床主要属变质-混合岩化热液矿床，仅晚期才有大气降水参与作用。

再次，本矿床金的成矿作用可分两个阶段，早阶段金主要与毒砂、黄铁矿共生；晚阶段则与含铜、铋、铅、锑的矿物共生。流体包裹体研究表明，两阶段成矿温度分别在 310—240℃ 和 180—140℃ 范围内盐度很低（1.5—9.0wt% NaCl），成矿溶液中钠、钙、氯和  $\text{CO}_2$  含量相对较高，同时，金与富  $\text{CO}_2$  包裹体常十分密切。由此可以认为，本矿床应属中低温热液矿床，与金有关的成矿流体主要是富  $\text{CO}_2$  的低盐度流体，金在流体中可能主要成氯的络合物搬运，而  $\text{CO}_2$  在金的富集上亦起了重要作用。

另外，我们还对主矿脉近旁的和远离主矿脉的成矿前更早阶段形成的无矿石英脉（透镜体）进行了流体包裹体研究。发现前者包裹体特征、均一温度和盐度范围等与主矿脉趋于一致，而后



者却与主矿脉有一定的差别。后者中含 NaCl 子晶的中等盐度包裹体,保留了更多的岩浆热液特征 (E. Rodder, 1979)<sup>[4]</sup>,表明它可能是直接由变质-混合岩化过程中衍生出来的,而含金的变质-混合岩化热液可能是它进一步演化的结果。

最后,利用下述经验公式<sup>[5]</sup>,尝试计算了本矿床的成矿压力和深度。

$$T_0 \text{ (初始温度, } ^\circ\text{C)} = 374 + 920 \times N \text{ (成矿溶液的盐度);}$$

$$P_0 \text{ (初始压力, } 10^5\text{Pa)} = 219 + 2620 \times N \text{ (成矿溶液的盐度);}$$

$$H_0 \text{ (初始深度, km)} = P_0 \times 1/300 \times 10^5;$$

$$P_1 \text{ (成矿压力, } 10^5\text{Pa)} = P_0 \times T_1 \text{ (矿区实测成矿温度)} / T_0;$$

$$H_1 \text{ (成矿深度, km)} = P_1 \times 1/300 \times 10^5.$$

计算时盐度N取包裹体实测的中间值 (5wt%NaCl), 实测成矿温度 $T_1$ 取两成矿阶段均一温度范围的峰值 (250 $^\circ\text{C}$ 和170 $^\circ\text{C}$ )。计算结果表明:本矿床早阶段成矿压力为 $208.33 \times 10^5\text{Pa}$ ,成矿深度为0.69km;晚阶段成矿压力为 $141.67 \times 10^5\text{Pa}$ ,成矿深度为0.47km。

综上所述,本矿床成因属浅成中低温变质-混合岩化热液矿床。与金有关的成矿溶液主要是一种低盐度的富 $\text{CO}_2$ 流体,这种流体可能是由变质和混合岩化过程中衍生的中等盐度的富水流体演化而来。

新洲金矿的研究工作是在广东省地质矿产局706地质队曾水连总工程师的支持及所属一分队的协助下完成的,其中包括代为支付部分测试费用;另外,我所同位素实验室和包裹体组为我们提供了高质量的测试数据,在此深表感谢。

### 参 考 文 献

- [1] Doe, B. R. and Stacey, J. S., 1974, The application of lead isotopes to the problems of ore genesis and ore prospect evaluation: A Review. *Econ. Geol.*, Vol. 69, pp. 757—776.
- [2] 张理刚, 1985, 稳定同位素在地质科学中的应用. 陕西科学技术出版社.
- [3] Taylor, H. P., 1974, The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problem of hydrothermal alteration and ore deposition. *Econ. Geol.*, Vol. 69, pp. 843—883.
- [4] Rodder, E., 1979, Fluid inclusions as samples of ore fluids. In *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. 2nd Edition pp. 684—733.
- [5] 邵洁涟、梅建明, 1986, 浙江火山岩区金矿床的矿物包裹体标型特征研究及其成因与找矿意义. *矿物岩石*, 第6卷, 第3期.

## FLUID INCLUSIONS AND STABLE ISOTOPES IN THE XINZHOU GOLD DEPOSIT, GUANGDONG PROVINCE

Tu Shaoxiang and Gao Yanjun

(Yichang Institute of Geology and Mineral Resource, Chinese Academy of Geological Sciences, Yichang)

### Abstract

The Xinzhou mine is dominantly a quartz vein-type gold deposit. The ore veins occur in deformed Sinian metamorphic rocks and are controlled by a nearly east-west-trending interformational arcuate fault produced by a late-stage tectonic movement. Gold mineralization involved two stages. The early-stage minerals are chiefly pyrite, arsenopyrite, native gold and massive quartz; the late-formed minerals are mainly those containing copper, bismuth, lead and antimony as well

as native gold, electrum and recrystallized fine-grained quartz.

Three types of fluid inclusions in quartz from ore veins are identified: (1) H<sub>2</sub>O-rich inclusion, (2) CO<sub>2</sub>-rich inclusion, and (3) H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> inclusion. Generally, most inclusions in massive quartz are CO<sub>2</sub>-rich ones, whereas recrystallized fine-grained quartz contains commonly H<sub>2</sub>O-rich inclusions. Besides, polyphase inclusions with the daughter mineral halite have been found in some pre-mineralisation barren quartz veins which are commonly concordant with the metamorphic rock formations.

The homogenization temperatures of the H<sub>2</sub>O-rich inclusions in quartz formed in the two mineralization stages range from 240° to 310°C and from 140° to 180°C, respectively. The salinity ranges from 1.5 to 9.0 equiv. wt% NaCl. The Na, Ca, Cl and CO<sub>2</sub> contents in ore fluids are relatively high.

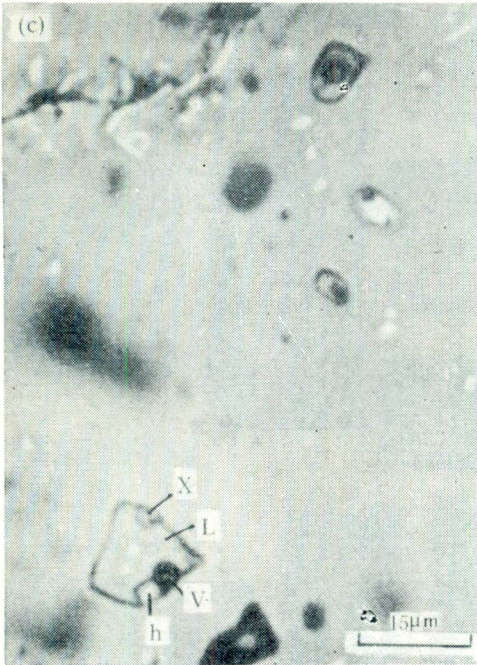
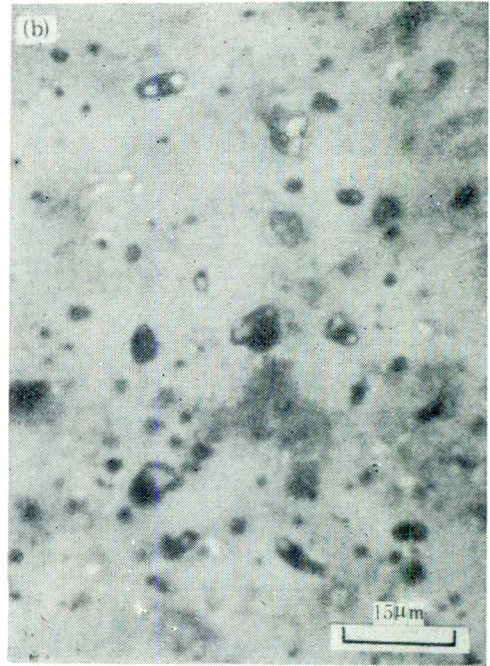
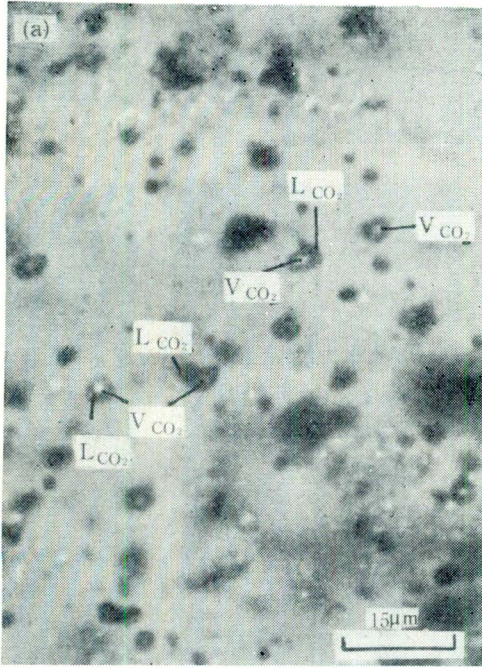
The isotope ratios of ore leads from ore veins indicate a upper crustal source ( $\mu=9.35-9.75$ ). The sulfur isotope ratios indicate that sulfur in ore veins was probably derived from sediments ( $\delta^{34}\text{S}=12.08-13.56\%$ ).

The measured and calculated  $\delta\text{D}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  values of hydrothermal fluids in the ore veins are  $-51.4$  to  $-56.5\%$  and  $14.80$  to  $19.42\%$ , respectively. These values mainly fall into the overlap field of magmatic water and metamorphic water given by Taylor(1974).

Consequently, the Xinzhou gold mine is considered to be a metamorphosed and migmatized hydrothermal ore deposit formed in hypabyssal moderate- to low-temperature conditions.

### 作者简介

涂绍雄，湖北宜昌市人，生于1935年11月，1958年毕业于中南矿冶学院地质系。1973年以前在南京大学地质系从事岩石矿物学教学工作，现在中国地质科学院宜昌地质矿产研究所主要从事变质岩及金矿研究工作，副研究员。发表过数篇岩石矿物学方面的论文。通讯地址：湖北宜昌市港窑路21号，邮政编码：443003



(a) 含金富硫化物石英脉 (X80) 中的富  $\text{CO}_2$  包裹体:  $\text{V}_{\text{CO}_2}$ —气态  $\text{CO}_2$ ,  $\text{L}_{\text{CO}_2}$ —液态  $\text{CO}_2$ ;

(b) 主矿脉旁蚀变围岩中无矿石英透镜体 (X78) 中的两相气液包裹体;

(c) 远离主矿脉的成矿前无矿石英脉 (X11-6) 中的多相包裹体: V—气相, L—液相, h—石盐子矿物 (在  $250^\circ\text{C}$  时消失), K—未鉴定的晶体 (未溶解)

(a)  $\text{CO}_2$ -rich inclusions from gold-bearing quartz veins;  $\text{V}_{\text{CO}_2}$ —Gas  $\text{CO}_2$  phases,  $\text{L}_{\text{CO}_2}$ —liquid  $\text{CO}_2$  phases;

(b) Two phases gas—liquid inclusions from ore-free quartz lenticle occurring in altered wall beside gold-bearing quartz vein;

(c) Multiple phase inclusions from premineral ore-free quartz vein; V—Gas phase, L—liquid phase, h—halite daughter mineral, k—undetermined mineral