

# 海南抱板金矿带地质特征及矿床成因\*

陈志中 俞受璠 陈炳辉 秦 联

(中山大学地质系, 广州)

**提 要:** 抱板金矿带产于戈枕脆韧性剪切断裂带西侧中元古代花岗岩体内接触带上, 有剪切带蚀变岩型、石英脉型和含金伟晶岩型三种主要类型的矿床, 以前一类最为重要。经多年研究认为, 不同类型矿床的成矿时代不同, 具多期成矿的特点。含金伟晶岩型和石英脉型金矿形成于海西期, 成矿物质主要来自同期岩浆热液; 含金剪切带的糜棱岩型金矿化发生于印支期; 剪切带蚀变岩型金矿床形成于燕山期, 成矿物质主要来自于与燕山期安玄玢岩同源的深部岩浆, 但有大气水和老岩体及地层物质加入。

**主题词:** 脆韧性剪切断裂带 多类型多成因 金矿床 海南抱板

海南抱板金矿带是指沿北东向戈枕脆韧性剪切断裂带西侧产出的金矿床, 由南至北有不磨、二甲、北牛(牛岭)、抱板、土外山和叉河农场21队等金矿床。自1985年金矿被发现以来, 不少部门进行了大量的研究工作, 但对矿床成因存在不同的认识。我们经多年研究认为, 抱板金矿带的不同类型金矿其成矿时代是有差别的, 具多次成矿的特点。带内最重要的剪切带蚀变岩型金矿形成于燕山期, 成矿物质主要来自于同期深源岩浆。

## 1 区域地质概述

抱板金矿带位于海南岛古陆块西部那大地块的元古代沉降带中。区内出露一套中元古界金牛岭群和上元古界“石碌群”浅变质岩系<sup>[1]</sup>。金牛岭群是组成海南岛西部地壳的构造基底, 已获得其地层 Pb-Pb 等时线年龄为  $1329 \times 10^6 \text{ a} \sim 1780 \times 10^6 \text{ a}$ , 它主要分布于矿带东南侧, 在岩体内有少量呈残留体形式产出(图1)。

区内岩浆活动频繁, 最早一次发生在中元古代, 形成抱板花岗岩体, 但前人将其称为抱板混合岩田<sup>[2]</sup>。金矿带就产生在此花岗岩体东西边缘内接触带中。岩体与金牛岭群呈侵入接触关系, 并使地层发生角岩化。已获得岩体锆石 U-Pb 不一致线与谐和曲线上交点年龄为  $1440.87 \times 10^6 \text{ a}$ <sup>[3]</sup>, 说明岩体是中元古代的产物。海西—印支期岩浆活动形成有占县花岗岩体和穿插于中元古代花岗岩中的伟晶岩脉、斜长角闪片岩脉及二甲斑状花岗岩。两种岩脉的白云母和角闪石的 K-Ar 法同位素年龄分别为  $342.51 \times 10^6 \text{ a}$  和  $299.8 \times 10^6 \text{ a}$ , 斑状花岗岩的锆石 U-Pb 不一致线年龄为  $276.68 \times 10^6 \text{ a}$ 。这些都说明它们是海西期的产物。燕山期岩

\* 国家自然科学基金资助课题

陈志中, 男, 1934年生, 副教授, 长期从事矿床学和矿相学的教学和科研工作。邮政编码: 510275  
1992-5-11收稿, 1992-9修改回

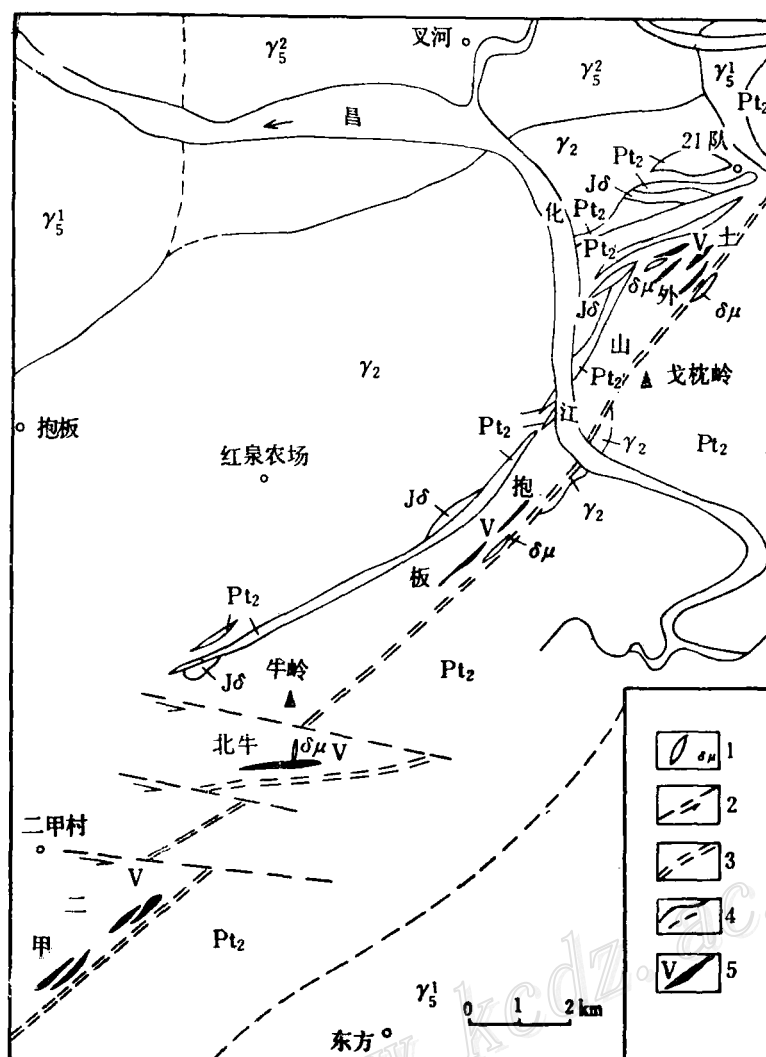


图 1 抱板金矿带地质略图

Pt<sub>2</sub>—中元古界金牛岭群；γ<sub>2</sub>—燕山期花岗岩；Jδ—海西期斜长角闪片岩；γ<sub>5</sub>—印支期花岗岩；γ<sub>2</sub>—中元古代花岗岩；1—燕山期安玄玢岩；2—断裂；3—戈枕断裂；4—地质界线；5—糜棱岩带及金矿体

Fig. 1. Geological sketch map of the Baoban gold ore belt.

Pt<sub>2</sub>—Middle Proterozoic Jinniuling Group; γ<sub>2</sub>—Yanshanian granite; Jδ—Hecynian amphibolite schist; γ<sub>5</sub>—Indosinian granite; γ<sub>2</sub>—Middle Proterozoic granite; 1—Yanshanian andesitic basalt porphyrite; 2—Fault; 3—Gezhen fault; 4—Geological boundary; 5—Mylonite zone and gold orebody.

浆活动在矿带北部形成三狮花岗岩体；在戈枕断裂带上及矿体附近有花岗闪长斑岩脉、煌斑岩脉及安玄玢岩脉形成，与金矿化关系密切。前两种岩脉的全岩 K-Ar 年龄分别为  $137.5 \times 10^6$  a 和  $113 \times 10^6$  a，说明是燕山期的产物。

矿带内构造以断裂为特征，主干断裂是北东向戈枕断裂，为金矿化和矿床展布的主要控矿构造。东西向、西北向和北西向断裂虽有出露，但规模较小，且多被岩脉和石英脉充填。

戈枕断裂是一条脆韧性剪切断裂带，早期以韧性剪切为特征，形成一系列糜棱岩带，晚

期叠加脆性变形,构成脆韧性剪切断裂。断裂从二甲呈北东 $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 走向,经抱板、土外山、叉河农场21队,在石碌铁矿西部消失;从二甲向南西延伸至不磨金矿。从二甲至21队的25 km内,断裂延伸稳定,形迹明显。在牛岭以南至二甲,戈枕断裂没有明显的主断裂面,而是由多条糜棱岩带表现出来。糜棱岩带片理倾向南东,倾角 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$ 。在牛岭以北至土外山,断裂带除出露多条糜棱岩带外,还有明显的主断面。主断面和糜棱岩带片理都倾向北西,倾角 $60^{\circ}\sim 75^{\circ}$ ,并有明显的角砾破碎和硅化现象。

叶伯丹等<sup>[4]</sup>对二甲千糜岩的绢云母测得 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄值为 $(228\pm 5)\times 10^6$  a,可代表剪切作用形成年龄,说明韧性剪切发生于印支期。

这条剪切带在燕山期发展演化为脆性断裂,使糜棱岩带也叠加上脆性变形,普遍发生角砾破碎和硅化,为金在糜棱岩带内富集成矿和中基性岩脉侵入提供了条件。在二甲矿区脆性断裂不明显,这是由于东西向断裂破坏使牛岭以南这一段被抬升,遭受剥蚀深度较大,脆性破碎部分已被剥蚀,而在牛岭以北这一段因剥蚀较浅而被保留下来,故在土外山矿区深部应有二甲类型的矿体存在。

## 2 金矿带矿床特征

根据不同矿床特征、产出空间、矿体产状、形态和矿化特点,矿带内的金矿床类型可划

表 1 抱板金矿带各类型矿床主要特征

Table 1. Major characteristics of various gold deposits in the Baoban gold ore belt

矿床类型	产出空间及矿例	矿体产状	矿化特征	围岩蚀变
蚀变岩型	位于戈枕脆韧性剪切带,如二甲矿区V <sub>11</sub> , V <sub>17</sub> ,和V <sub>23</sub> 号矿脉;抱板矿区V <sub>1</sub> 号矿脉;土外山矿区V <sub>4-17</sub> 号矿脉	金矿体呈脉状、透镜状产于糜棱岩带内,呈北东走向,与糜棱岩带产状一致,具水平分带,从矿体中心向外可分为糜棱岩(强硅化)带、蚀变千糜岩带、蚀变糜棱岩带和蚀变破裂岩带,各带之间呈过渡关系	金矿化主要发生在强硅化带、蚀变千糜岩带和蚀变糜棱岩带中,以强硅化带矿化最好,金品位最高可达100g/t,一般 $x\sim xxg/t$ 。矿石矿物为自然金,主要沿裂隙产出,部分产于晶隙、晶洞和包裹体中,以细粒和微粒为主,与细粒黄铁矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿等硫化物共生,金成色934~959。成矿具多阶段性	围岩蚀变强烈,主要有硅化、绢云母化、黄铁矿毒砂矿化、绿泥石化和碳酸盐化等,以硅化最强烈。蚀变具多阶段性
石英脉型	位于剪切带北西侧,如二甲矿区那都矿段和广坝农场17队水库附近矿脉;抱板矿区V <sub>2</sub> 号矿脉;不磨矿区地表各方向矿脉	金矿体零散充填于矿带内的中元古代花岗岩内接触带中,矿脉多产在北东、南北和北西向的裂隙中,矿体与围岩界线清楚	自然金产于石英脉体中,板抱V <sub>2</sub> 号脉平均含金品位达7g/t。自然金与细粒黄铁矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿和黄铜矿等共生。围岩不含矿或矿化极微弱	围岩蚀变弱,仅见微弱的绢云母化和硅化
含金伟晶岩型	仅发现于抱板矿区V <sub>13</sub> 号矿脉,产于远离剪切带约2 km	含金伟晶岩脉呈北西向产于远离剪切带的中元古代花岗岩中。脉体长20m,厚0.20m	自然金主要产于伟晶岩脉的核部石英晶洞中。平均金品位达54.54g/t	未见有围岩蚀变

分为剪切带蚀变岩型(简称蚀变岩型)、石英脉型和含金伟晶岩型,其中以剪切带蚀变岩型规模最大最重要,次为石英脉型。各类型矿床特征如表1所示。此外,在各主要矿体附近还分布有残坡积型砂金矿床。

蚀变岩型金矿体呈脉状、透镜状(图2)产于糜棱岩带内。一个糜棱岩带常有多条矿脉,单脉长30~350m,宽1~10m,延深一般20~200m,最深达300m。围岩蚀变强烈,有多阶段的特点。早阶段蚀变呈面型分布,强烈部位形成黄铁绢英岩,其中黄铁矿和毒砂的粒度粗具碎裂结构。中阶段蚀变有硅化、黄铁矿-毒砂矿化、绢云母化和绿泥石化,沿主要成矿构造交代者形成强硅化“脉核”,而沿裂隙交代者则形成绢英岩脉或绿泥石石英脉。本阶段硅化与金矿化关系非常密切,硅化越强含金就越富。自形细粒的黄铁矿、毒砂和闪锌矿、方铅矿、黄铜矿与自然金紧密共生。晚阶段蚀变为硅化和碳酸盐化,生成浅白色石英脉和粗粒方解石脉,未见金矿化。

根据野外观察和室内研究,蚀变岩型金矿可划分为三个矿化阶段。早期为石英黄铁矿毒砂阶段,形成面型蚀变和粗粒黄铁矿和毒砂,金矿化极微弱。中期为石英多金属硫化物自然金阶段,是金析出的主要阶段。本阶段强烈硅化析出的烟灰色石英和自然金、细粒黄铁矿、毒砂、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿,彼此紧密共生,在二甲矿区还有白钨矿共生。晚期为石英碳酸盐阶段,主要生成浅白色石英细脉和粗粒方解石脉,其中有少量方铅矿、硫锑铅矿和脆硫锑铅矿,未见自然金,表明成矿作用进入尾声。

### 3 矿床成因

对抱板金矿带的矿床成因存在不同认识,赵吉良<sup>①</sup>认为含金伟晶岩和早期含金石英脉是混合岩化热液型金矿,而蚀变岩型金矿则是大气水-变质水-岩浆水混合成因,成矿时代为海西-印支期。冯连顺<sup>②</sup>认为抱板金矿是变质分异混合岩化为主导作用的金矿床,主要成矿期为海西晚期至燕山早期。叶伯丹<sup>④</sup>根据戈枕韧性剪切同期生成的绢云母<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年龄为 $(228 \pm 5) \times 10^6$  a,认为糜棱岩-千糜岩型金矿形成于中一晚三叠世。海南有色934地质队认为抱板金矿是变质分异混合热液蚀变岩型金矿<sup>②</sup>,而土外山金矿是区域变质-混合岩化-动力

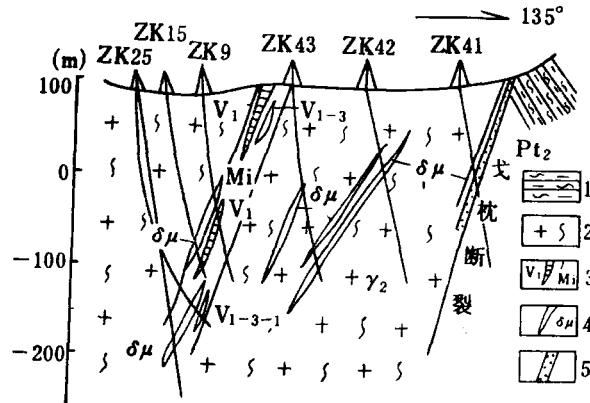


图2 抱板矿区0线剖面图

(据海南934队资料)

1—千枚岩; 2—中元古代花岗岩; 3—糜棱岩带及矿体; 4—安玄玢岩脉; 5—戈枕断裂

Fig.2. Geological section along No. 0 exploration line of the Baoban ore district.

1—Phyllite; 2—Middle Proterozoic granite; 3—Mylonite zone and gold orebody; 4—Andesitic basalt porphyrite dike; 5—Gezhen fault.

① 赵吉良, 1989, 金银矿产选集, 第十二集, 282~295页

② 海南有色934地质队, 1989, 东方县抱板金矿详查报告

变质-热液蚀变多因复成矿床<sup>①</sup>，成矿时代均为晚古生代一早中生代。我们经多年研究后认为，抱板金矿带的金矿成因类型复杂，成矿作用具多期多阶段性。含金伟晶岩和石英脉型金矿属高中温岩浆热液矿床，形成于海西期，剪切带蚀变岩型金矿属含金剪切带金矿化叠加中温岩浆热液的金矿床，主要成矿作用发生于燕山期。

### 3.1 成矿物质来源

3.1.1 地层和岩体的含金性 对土外山矿区及外围各类岩石含矿性分析(表2)，表明各类岩石的含金量较高，Au与Pb、Sb、As呈正相关关系。对二甲和土外山东南侧金牛岭群剖面及各岩体的金含量分析结果(表3)，显示接触带地层(I-2, II-2)的含金量比远离接触带

表2 岩石中主要成矿元素含量(Au:10<sup>-9</sup>, 其它10<sup>-9</sup>)

Table 2. Contents of major ore-forming elements in rocks(Au:10<sup>-9</sup>; other elements:10<sup>-9</sup>)

岩 石	采样位置	样品数	元素含量										
			Au	Ag	As	Sb	Cu	Pb	Zn	W	Sn	Mo	
中元古代花岗岩	昌化江大坝以下(岩体内部)	7	19.02	0.11	12.7	0.35	70.1	47.9	86.7	1.8	4.6	2.4	
	土外山矿区(岩体内接触带)	6	51.2	0.12	259.6	3.05	45.2	151.6	170.2	5.5	39.0	2.5	
蚀变中元古代花岗岩	土外山矿区	5	69.2	0.10	96.6	4.3	35.2	171.6	55.6	3.2	38.7	1.7	
海西期斜长角闪片岩	土外山矿区	2	114.5	0.11	23	0.86	123.5	27	150.5	1.3	7.7	1.4	
中元古界 金牛岭群	云母石英片岩	土外山矿区	4	22.3	0.10	49.8	2.6	60.5	33	35.3	2.2	5.6	1.6
	千枚岩	蜈蚣岭及昌化江	9	17.02	0.08	49.3	2.3	66.4	22.8	67.4	3.1	5.8	2.2

西北有色金属地质研究所分析

(I-1, II-1)高出6倍，中元古代花岗岩体的内接触带含金量也比岩体内部高2倍(表2)。所以中元古代花岗岩体接触带和海西期斜长角闪片岩含金高的地段，在后来的岩浆热液作用下有可能带出部分金参与成矿作用。此外，燕山期各种岩脉含金丰度也较高，其本身就是重要的成矿物质来源。

3.1.2 铅同位素 矿带内22个铅同位素分析资料(表4)，显示蚀变岩型矿石铅同位素组成与安玄玢岩黄铁矿铅同位素组成一致；斜长角闪片岩和中元古代花岗岩中蚀变形成的浸染状黄铁矿铅同位素组成也与矿石铅一致，这表明它们的源区相同。而花岗岩和变质岩的铅与矿石铅差异明显，表明两者源区不同。在单阶段铅增长曲线图上(图3)，蚀变岩型矿石铅和蚀变黄铁矿铅及安玄玢岩黄铁矿铅均落在零等时线左侧，显示正的模式年龄，进一步说明它们三者的铅源相同。中元古代花岗岩和海西期斜长角闪片岩中的黄铁矿是在安玄玢岩脉侵入后金矿化时蚀变生成的。中元古代花岗岩和中元古界白云母石英片岩的铅均落在零等时线右侧，显示负的模式年龄，表明它们与蚀变岩型矿石铅源区不同。

① 海南有色934地质队，1989，昌江县土外山金矿详查报告

表 3 地层及岩体的金含量(10<sup>-9</sup>)

Table 3. Gold content of strata and intrusives (10<sup>-9</sup>)

地层或岩体	采样位置		样品数	金含量
金牛岭群的千枚岩、变质细砂岩及变质粉砂岩	二甲至四方村剖面 (I)	靠四方村一段 (I-1)	5	1.12
		靠二甲矿区一段 (I-2)	6	7.20
	叉河农场17队至乌烈林场剖面 (II)	靠乌烈一段 (II-1)	6	0.75
		靠17队一段 (II-2)	5	7.20
中元古代花岗岩	二甲矿区 39 线和土外山矿区 0 线		6	38.32
海西期斜长角闪片岩	抱板和土外山矿区		7	72.08
燕山期花岗闪长斑岩	抱板矿区		1	12.40
燕山期安玄玢岩	抱板矿区		1	9.0
燕山期煌斑岩	二甲矿区		1	18.0

由华东地质调查局 814 队分析

表 4 铅同位素组成特征

Table 4. Lead isotope composition

矿石或岩石	测定对象	样号	$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	多伊模式年龄 (10 <sup>6</sup> a)	资料来源
矿石 (蚀变岩型)	黄铁矿	K-19	18.783	15.726	38.900	57.05	本文
		K-17-9	18.484	15.609	38.421	130.03	
		T-07	18.700	15.742	39.376	134.79	肖志峰 (1989)
		T-35	18.891	15.720	39.510	36.01	
		T-54	19.016	15.851	39.767	109.07	
		T-56	19.286	16.027	40.464	131.80	
		T-55	18.677	15.480	38.919		
		T-90-1	19.014	15.769	39.622	8.5	
		T-90-2	19.270	15.788	39.723		
	平均	18.912	15.746	39.412			
	方铅矿	T-202	18.386	15.567	38.547		本文 肖志峰(1989)
T-207		18.646	15.501	38.619	50.60		
安玄玢岩	黄铁矿	B-201	18.460	15.480	38.517	138.82	本文 肖志峰(1989)
		T-102	18.824	15.691	39.087	47.11	
中元古代花岗岩	黄铁矿	T-002	18.459	15.614	38.570	144.55	本文
		T-015	19.176	15.732	39.258		
	全岩	T-223	20.086	15.708	38.991		本文 肖志峰(1989) 肖志峰(1989)
		T-178	19.981	15.560	38.720		
		T-198	19.642	15.821	40.072		
	长石		18.115	15.466	37.154		本文
斜长角闪片岩	黄铁矿	K-36	18.501	15.548	38.289	29.36	本文
白云母石英片岩	全岩	T-10	23.476	16.203	45.019		肖志峰(1989)
		T-15	20.541	15.794	42.632		

由贵阳地球化学研究所分析

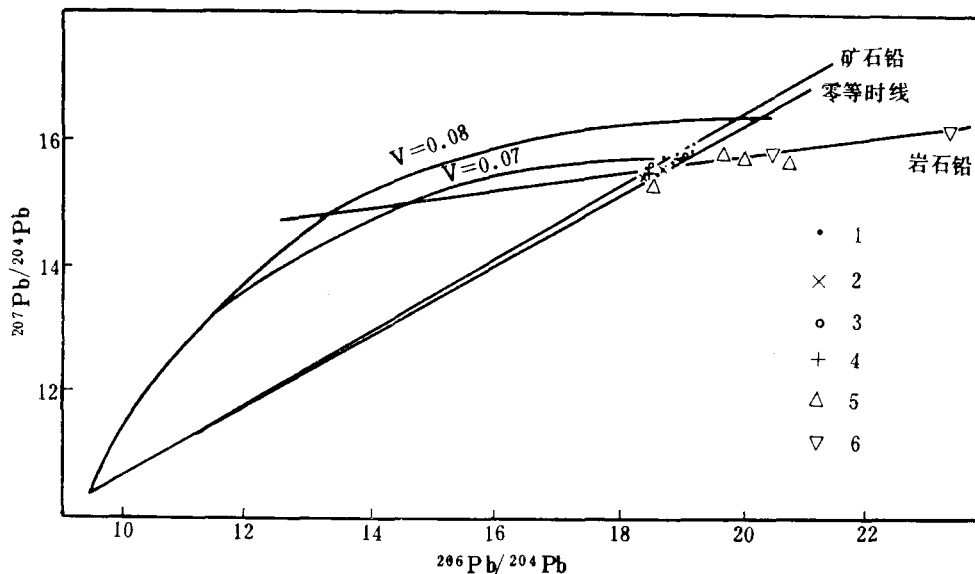


图3 霍姆斯-豪特曼斯铅增长曲线

1—矿石铅；2—安玄玢岩铅；3—花岗岩黄铁矿铅；4—斜长角闪片岩黄铁矿铅；5—中元古代花岗岩铅；6—白云母石英片岩铅

Fig. 3. Holmos-Houtermans lead growth curve.

1—Ore lead; 2—Lead of andesitic basalt porphyrite; 3—Pyrite lead from granite; 4—Pyrite lead from amphibolite schist; 5—Lead of Middle Proterozoic granite; 6—Lead of muscovite quartz schist.

采用 Doe 单阶段模式计算蚀变岩型金矿石的模式年龄，多数落在  $109 \times 10^6 \sim 144 \times 10^6$  a 之间，安玄玢岩为  $138.82 \times 10^6$  a (表4)。考虑到与安玄玢岩同期的花岗闪长斑岩的 K-Ar 年龄为  $137.5 \times 10^6$  a，结合地质观察，我们认为蚀变岩型金矿应是形成于燕山期的。

在 Doe 和 Zartman(1979) 的铅构造模式图解上，矿石铅落在上地壳和造山带曲线附近，个别落在地幔与造山带曲线之间，表明矿石铅源区复杂。安玄玢岩黄铁矿落在矿石铅区内，说明两者铅源区相同，主要来源于上地壳造山带，但有地幔物质加入，属壳幔混合铅。经计算有 38.6% 的铅来自地幔，61.4% 来自地壳。

综上所述，蚀变岩型金矿形成于燕山期，矿石铅主要来自燕山期与安玄玢岩同源的深部岩浆。矿石中金与铅呈正相关关系，所以金也主要来自深部岩浆。

3.1.3 硫同位素 硫同位素分析结果表明，11个矿石黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  为 4.0‰~8.2‰，主要集中在 6‰~7‰ 之间，均是正向偏离陨硫。安玄玢岩黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  为 6.9‰，与矿石硫一致。斜长角闪片岩黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  为 7.9‰，亦与矿石硫接近。中元古代花岗岩黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  为 12.3‰，与矿石硫差异较大。上述情况反映了硫可能主要来源于燕山期深成岩浆热液，有部分海西期斜长角闪片岩及中元古代花岗岩中硫的加入。

3.1.4 氢氧同位素 借助氢、氧同位素可探讨成矿热液来源和性质。从表5可以看出，剪切带蚀变岩型石英的  $\delta^{18}\text{O}$  = 7.5‰~15.10‰，平均 10.9‰，主要集中在 9.8‰~11.5‰ 范围内，成矿溶液的  $\delta\text{D}$  = -54‰~-87‰，从早到晚  $\delta\text{D}$  有升高趋势。计算求得成矿溶液的  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  = -3.5‰~+4.4‰，变化较大。石英脉型石英的  $\delta^{18}\text{O}$  = 10.7‰~13.1‰，平均 12.5‰，成矿溶

表 5 石英氢氧同位素分析结果(‰)(SMOW)  
Table 5. Oxygen and hydrogen isotope analyses (‰)(SMOW)

样号	矿石类型	形成温度(°C)	$\delta^{18}O_{\text{石英}}$	$\delta^{18}O_{H_2O}$	$\delta D_{H_2O}$	资料来源
PV <sub>1-1</sub>	蚀变岩型	290	10.0	2.7	-61	本文
PV <sub>1-2</sub>		290	9.8	2.5	-54	本文
V <sub>1-9-3</sub>		265	10.2	1.9	-66	冯连顺
V <sub>1-9-6</sub>		234	11.1	1.3	-78	冯连顺
V <sub>1-8-1</sub>		197	11.3	-0.6	-71	冯连顺
V <sub>101-021</sub>		200	15.1	3.4	-67	冯连顺
V <sub>101-09</sub>		292	11.5	4.4	-62	冯连顺
B <sub>249</sub>		210	7.5	-3.5	-76	肖志峰 <sup>①</sup>
T-35		200	12.8	1.2	-73	肖志峰
B <sub>270</sub>		180	10.3	-2.7	-69	肖志峰
T-56		220	10.2	-0.2	-87	肖志峰
V <sub>2-3</sub>		石英脉型	171	13.7	-0.1	-73
V <sub>5-161</sub>	259		10.7	2.1	-55	
V <sub>102-05</sub>	212		13.1	2.1	-62	
PV <sub>13-1</sub>	伟晶岩型	320	13.0	7.1	-55	本文

由贵阳地球化学研究所分析; ① 肖志峰, 1989, 海南岛抱板—土外山金矿成矿机理研究(硕士论文)

液的 $\delta D = -55\% \sim -73\%$ , 计算求得成矿溶液的 $\delta^{18}O_{H_2O} = -0.1\% \sim +2.1\%$ , 含金伟晶岩石英的 $\delta^{18}O = 13.0\%$ , 成矿溶液 $\delta D = -55\%$ , 计算求得成矿溶液的 $\delta^{18}O_{H_2O} = 7.1\%$ 。在 $\delta D_{H_2O} - \delta^{18}O_{H_2O}$ 相关图上(图4), 三种矿床的成矿热液来源是有区别的。含金伟晶岩投影点落入岩浆水区, 说明其成矿热液来源于岩浆热液; 蚀变岩型投影点较分散, 介于岩浆水与大气水线之间, 靠岩浆水一侧, 反映其成矿热液由岩浆水和大气水混合组成。石英脉型投影点与蚀变岩型基本一致, 但位置稍高一些, 可能有变质水加入。以上表明蚀变岩型和石英脉型金矿的成矿热液有多来源的特点。

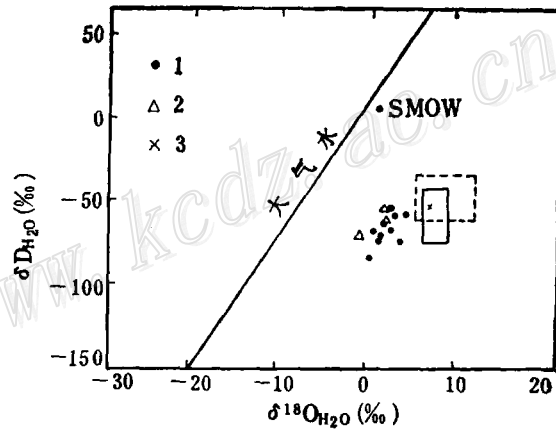


图 4  $\delta D_{H_2O} - \delta^{18}O_{H_2O}$  相关图解  
1—蚀变岩型; 2—石英脉型; 3—含金伟晶岩  
Fig. 4.  $\delta D_{H_2O}$ -versus  $\delta^{18}O_{H_2O}$ -diagram  
1—Altered rock type; 2—Quartz vein type; 3—Auriferous pegmatite.

### 3.2 矿物包裹体及成矿物理化学条件

#### 3.2.1 包裹体的特点 区内岩石、矿

石中石英原生包裹体有液相(气/液 $<15\%$ )、气液相(气/液 $=15\% \sim 70\%$ )和气相(气/液 $>70\%$ )包裹体, 以前者为主。在液相包裹体中偶见 $CO_2$ 液相包裹体。包裹体形态多样, 有椭圆形, 长条形和不规则形, 受压扭作用而拉长或定向排列明显。包裹体大小一般为 $3 \sim 8 \mu m$ , 但气相包裹体较大, 达 $10 \sim 16 \mu m$ 。



次生包裹体很发育,呈拉长状、不规则状,有些呈线状、网状成群出现。大小一般小于 $5\mu\text{m}$ ,气液比小于 $8\%$ ,为液相包裹体,有多期的特点,反映了石英经历多次变形和多期构造破碎活动。

3.2.2 成矿温度 石英包裹体均一法测温结果,蚀变岩型金矿形成温度变化在 $200\sim 340^\circ\text{C}$ 之间,平均 $290^\circ\text{C}$ ;含金伟晶岩的形成温度在 $275\sim 360^\circ\text{C}$ 之间,平均 $320^\circ\text{C}$ 。据冯连顺<sup>[5]</sup>资料,含金石英脉形成温度为 $197\sim 290^\circ\text{C}$ ,平均 $220^\circ\text{C}$ 。以上说明蚀变岩型和石英脉型金矿主要形成于中温条件,而含金伟晶岩形成温度属中偏高温。

3.2.3 成矿流体的盐度、密度和压力 对矿物包裹体盐度测定结果,显示蚀变岩型金矿的成矿流体盐度很低,为 $0.5\text{wt}\%\sim 5\text{wt}\%\text{NaCl}$ ,平均 $2.5\text{wt}\%\text{NaCl}$ ;含金伟晶岩为 $2\text{wt}\%\sim 6\text{wt}\%\text{NaCl}$ 。根据流体包裹体的均一温度-盐度-密度关系图,求得蚀变岩型金矿的成矿流体密度为 $0.75\sim 0.9\text{g/ml}$ 之间,平均 $0.83\text{g/ml}$ ;而含金伟晶岩为 $0.6\sim 0.85\text{g/ml}$ 之间,平均 $0.73\text{g/ml}$ 。利用Roedder(1980)的密度-压力-温度关系曲线,求得蚀变岩型成矿压力为 $320\times 10^5\text{Pa}$ ,而含金伟晶岩形成压力为 $600\times 10^5\text{Pa}$ 。

3.2.4 包裹体成分特征 从表6可以看出,成矿溶液的pH与去离子水(pH=5.20)相比,抱板V<sub>1</sub>号脉(蚀变岩型)和土外山V<sub>2-2</sub>号脉(石英脉型)的成矿溶液均呈弱碱性,而含金

表6 石英包裹体成分

Table 6. Fluid inclusion composition of quartz

样号/地点		PV <sub>1</sub> /抱板	P <sub>17-1</sub> /抱板	P <sub>202</sub> /抱板	P/抱板	V <sub>2-2</sub> /土外山
类型		蚀变岩型	蚀变岩型	含金伟晶岩	不含石英英	石英脉型
液相成分 ( $10^{-3}$ )	pH	6.75	6.62	4.55	4.91	6.60
	K <sub>2</sub> O	1.57	1.50	0.58	0.34	1.08
	Na <sub>2</sub> O	1.96	1.83	2.30	2.04	0.74
	CaO	17.2	17.5	3.96	0.83	0.68
	MgO	2.30	1.47	0.44	0.10	0.018
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.22	0.26	1.87	0.31	—
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5.62	5.23	—	0.31	—
	F <sup>-</sup>	0.23	0.09	0.25	0.17	0.10
	Cl <sup>-</sup>	0.20	0.20	0.20	0.40	3.20
	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	8.59	6.70	5.43	1.83	0
K <sup>+</sup> /Na <sup>+</sup>	0.80	0.82	0.25	0.17	1.46	
气相成分 (ml/100g)	CH <sub>4</sub>	—	1.13	2.72	1.61	0.96
	CO <sub>2</sub>	16.80	7.36	11.90	9.35	10.80
	H <sub>2</sub> O	96.1	64.3	71.0	70.0	61.5
	CO	—	—	—	—	0.01

由南京大学地球科学系分析

伟晶岩和不含石英英呈弱酸性。它们的液相成分特征反映出三类矿床的成矿热液是有差别的,蚀变岩型具有Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>-</sup>含量高的特点;含金伟晶岩则Fe<sup>3+</sup>、Na<sup>+</sup>含量高;而石英脉型则K<sup>+</sup>高,Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>低,Cl<sup>-</sup>含量比前两类高出15倍,但SO<sub>4</sub><sup>-</sup>含量极微。不含石英英与含金石英英的显著不同是总离子浓度低,以富Na<sup>+</sup>和K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup>比值小为特

征。包裹体气相成分的特征是明显富含  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ ，而  $\text{CH}_4$  含量少。

根据包裹体气相成分，利用化学平衡式： $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ ，经计算求得蚀变岩型金矿成矿流体氧逸度 ( $f_{\text{O}_2}$ ) 为  $10^{-31.71}\text{Pa}$ ，含金伟晶岩为  $10^{-29.83}\text{Pa}$ 。

### 3.3 成矿时代

矿带内不同类型金矿的成矿时代是有差别的，具多次成矿的特点。含金伟晶岩脉和石英脉型金矿形成于海西期，含金剪切带糜棱岩型金矿化发生于印支期，而剪切带蚀变岩型金矿主要形成于燕山期。主要依据如下：

(1) 含金伟晶岩及石英脉型金矿产于中元古代花岗岩体内，该岩体有不少海西期岩体及岩脉穿入。含金伟晶岩的白云母 K-Ar 年龄为  $342.51 \times 10^6\text{a}$ ，土外山含金石英脉的石英包裹体 Rb-Sr 等时线年龄为  $(341 \pm 12) \times 10^6\text{a}$  (表 7)，表明两者形成时间相同，均形成于海西期。

(2) 蚀变岩型金矿受构造控制明显，矿化糜棱岩、构造角砾岩未再遭受变质作用，说明控矿构造形成于区域变质作用之后。矿石中黄铁矿等金属矿物未遭受糜棱岩化，晶体良好，这也表明金矿化是在糜棱岩化之后发生的。

(3) 沿戈枕脆韧性剪切带普遍见到安玄玢岩、煌斑岩及花岗闪长斑岩脉，它们均未遭受变质作用和糜棱岩化影响，说明岩脉形成于剪切带活动的主峰期 ( $228 \times 10^6\text{a}$ ) 之后。矿带中岩脉都遭受了矿化热液改造，发生黄铁矿化等蚀变，近矿的安玄玢岩的金含量比远离矿体的安玄玢岩高得多，而且可以看到矿脉切穿岩脉或受岩脉的阻挡，均说明岩脉是成矿前侵入的，但两者形成时间很接近。花岗闪长斑岩全岩 K-Ar 年龄为  $137.5 \times 10^6\text{a}$ ，安玄玢岩黄铁矿铅模式年龄为  $138 \times 10^6\text{a}$ ，矿石铅模式年龄为  $109 \times 10^6 \sim 144 \times 10^6\text{a}$  之间，说明岩脉与成矿作用同期，即燕山期。

### 3.4 成矿机理和成矿模式

抱板中元古代花岗岩金的含量较高，达  $19 \times 10^{-9}$ 。岩体侵入与金牛岭群地层接触时，金在接触带发生了初次富集，其金含量比岩体内部升高 1~2 倍，达  $38 \times 10^{-9} \sim 51 \times 10^{-9}$ 。区内在海西—印支期发生区域变质和戈枕脆韧性剪切带雏型发育，使老花岗岩和地层都发育片理、片麻理，形成相当于绿片岩相的变质岩。这一时期的岩浆活动有占县花岗岩基和各种岩脉形成，如斜长角闪片岩、伟晶岩脉沿断裂贯入。斜长角闪片岩含金丰度高，侵入于中元古代花岗岩体东南接触带上，使接触带的含量升高，在一定条件下，金就可以迁移、富集成矿。石英脉型金矿和含金伟晶岩就是这个时期形成的。

表 7 含金石英脉的石英流体包裹体 Rb-Sr 等时线法年龄测定结果

Table 7. Rb-Sr isotopic dating of auriferous quartz veins

采样地点	样号	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	结果处理
土外山矿区石英脉矿石	V <sub>2</sub> -2①	12.3854	0.7992	TK-10未参加计算 $\lambda(^{87}\text{Rb}) = 1.42 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$ $\langle ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \rangle = 0.7404 \pm 0.008$ $t = (341 \pm 12) \times 10^6 \text{a}$
	V <sub>2</sub> -2⑤	1.8591	0.7513	
	V <sub>2</sub> -6	1.4414	0.7474	
	V <sub>2</sub> -2①-1	7.7143	0.7793	
	V <sub>2</sub> -2③	8.0774	0.7798	
	V <sub>2</sub> -6-1	1.4310	0.7484	
	V <sub>3</sub>	0.0949	0.7375	
	TK-10	3.3272	0.7705	

由宜昌地质矿产研究所分析

印支期是戈枕韧性剪切带强烈活动时期,这条剪切带正好发育于中元古代花岗岩体东南接触带,分散于接触带的金在压扭剪切过程中会有部分被带出。由于剪切带演化诱导发育微裂隙,并建立起高的流体压力梯度,促进金与硫化物的溶解,加快含金热液的迁移速度。当含金热液上升到由韧性过渡到脆性地段时,因温度、压力相对降低,金与 $\text{SiO}_2$ 就会在同一物化条件下沉淀析出,形成糜棱岩-千糜岩型金矿化。这个时期的这种金矿化对二甲 $V_{11}$ 、 $V_{17}$ 号矿脉的形成有重要地位。但这个时期的金矿化只有后期金矿化叠加处,才形成金矿体。

在燕山期,戈枕韧性剪切带发展为脆性断裂,并伴随岩浆活动,形成沿断裂带分布的各种岩脉,如安玄玢岩、花岗闪长斑岩脉。这些岩浆活动为这一时期的金成矿带来矿质、热液和热源。当岩浆热液沿断裂上升,会不断地与沿断裂带潜流的大气水在深部发生混合,形成含矿热液。这种热液在上升过程中能不断地从围岩萃取一些成矿物质,当其进入破碎糜棱岩带时,由于大气水的进一步加入和温度降低,导致金沉淀富集成矿。这次金沉淀矿化是继承性叠加在剪切糜棱岩带内的,使早期韧性剪切阶段形成的金矿化进一步富集,形成了剪切带蚀变岩型金矿床。

### 参 考 文 献

- 1 单惠珍,俞受鎔,秦联.海南岛石碌地区地层的新认识,地球科学进展,1991
- 2 王赐银,季寿元,刘家旺.海南岛东方县抱板混合岩体的岩石学特征及其成因、时代探讨.南京大学学报地质学专刊(一),1979
- 3 俞受鎔.海南发现中元古代花岗岩.中山大学学报,1990,29(4)
- 4 叶伯丹,朱家平.海南岛二甲抱板群和金矿的时代.地质找矿论丛,1990,5(1)
- 5 冯连顺.海南岛抱板金矿床同位素质地质特征的初步研究.贵金属地质,1989(3~4)

## GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GENESES OF THE BAOBAN GOLD ORE BELT, HAINAN PROVINCE

Chen Zhizhong, Yu Shouyun, Chen Binghui and Qin Lian

(Department of Geology, Zhongshan University, Guangzhou, Guangdong Province)

### Abstract

The Baoban gold ore belt occurs in the contact zone of the Middle Proterozoic granite on the western side of the Gezhen brittle-ductile shear fault. There exist three types of gold deposits, i.e., shear altered rock type, quartz vein type and auriferous pegmatite type, with the first type being most important. The Pb, S, H, O, Rb-Sr isotopic data and fluid inclusion studies show that different gold deposits were formed in different geological epoches, thus

exhibiting polyphase ore-forming features; pegmatites and quartz veins were formed in Hercynian period, and their ore-forming substances and hydrothermal solution were mainly derived from Hercynian magma; mylonite type gold mineralization in the ductile shear zone took place in Indosinian period; shear altered rock type deposits were formed in Yanshanian period, and their ore-forming materials and hydrothermal solution were mainly derived from the same deep magma as the Yanshanian andesitic basalt porphyrite, with the addition of meteoric water and materials from the Middle Proterozoic granite and sedimentary sequence.



## 《中国矿床模式》通过评审、即将出版

受地质矿产部科学技术司委托,由矿床学家、矿床地质研究所研究员裴荣富先生担任主编的“中国矿床模式”于1993年8月20日在北京通过评审,并即将公开出版发行。

该书是由科研、教学、生产等27个单位、95位专家、学者共同编写的。全书根据中国405个矿床研究的成果,经过整理、研究、筛选,确立了100个矿床模式,其中涉及了我国主要金属、非金属矿种45种,覆盖了我国除天津、上海之外28个省、市、自治区,较全面地反映了我国矿床地质特征及其研究水平,较系统地总结与概括了我国各类矿床模式。该书具有如下特点:

1. 以写实手法为主,对同一地质环境中一组相似,或同一类型矿床的共同地质特征进行系统整理,并归纳出具有一定理性认识,反映该类型矿床共性的标准样式,使每个模式具有鲜明的区域性特点和一定理论认识的概念性与科学性。

2. 依据地质构造背景-成矿环境-矿床主岩岩石组合,结合中国具体情况,将100个矿床模式进行分类,并配置在前寒武系、古亚洲、特提斯-喜马拉雅和滨西太平洋等四个构造成矿域和27个成矿环境之中,使每类矿床都在一定的构造背景与成矿环境中进行模式化,并且取得了有机联系。

3. 每个模式描述中突出了成矿构造环境与成矿演化历史,较全面阐述了各类矿床产出的位置以及该区地质发展历史与成矿作用演化的过程,以便从活动论观点去了解该类型矿床区域成矿的特点和矿床模式建立与应用的地质基础。

4. 在矿床模式研究基础上阐述了每类矿床的控矿条件与找矿标志,以便在同一成矿环境中对寻找同类型矿床起到指导作用,使矿床模式的建立与研究更具有实际意义。

5. 每个模式描述具有统一格式,条理清楚,其中特别说明了对矿床存在的不同认识,以便能更好地了解该类型矿床研究的现状。同时全书后面还编写了与矿床评价有关的矿床规模、矿产品价格、矿床标型矿物、矿床稀土元素、流体包裹体等特征和稳定同位素研究方面的附录,对矿产勘查与矿床对比研究都具有参考价值。

该书内容丰富,叙述简要,虽然由于我国各类矿床研究程度悬殊较大,但从总体说它较全面地反映了我国矿床学近年来研究的新成果,是当代地质找矿理论与我国矿床地质特征相结合的结晶。该书出版对于提高我国矿床成矿认识、开展矿床地质类比和矿产勘查、以及矿床学教学与国际交流都具有积极作用。