

# 江西大背坞金矿床地质、地球化学特征<sup>\*</sup>

王平安<sup>1</sup> 董法先<sup>1</sup> 刘建民<sup>1</sup> 陈柏林<sup>1</sup> 沈廷远<sup>2</sup> 朱永余<sup>1</sup>

(1 中国地质科学院地质力学研究所, 北京 2 江西地质矿产勘查开发局 916 地质大队, 九江)

**提 要:** 江西大背坞金矿床赋存在中元古界双桥山群第二岩性组中, 产于燕山期花岗岩体的旁侧, 受韧性剪切带及其中的挤压破碎带控制。流体包裹体及氢、氧、碳、硫、铅、硅、锶同位素特征表明, 参与成矿的碳以岩浆源为主, 铅以壳源为主, 锶源于上地壳, 硫和硅来自地层, 流体水以岩浆源为主, 混有变质残留晶间水和一定数量的大气降水。矿床成因上应属与燕山期花岗岩浆活动有关的中温热液矿床。

**关键词:** 地质特征 矿床成因 金矿 江西大背坞

## 1 大背坞金矿床主要地质特征

### 1.1 区域地质背景

该矿床位于江西省浮梁县, 在景德镇市东北部约 27 km 处, 属扬子地块东段。区域上为一金矿集中分布区, 在不到 10,000 km<sup>2</sup> 范围内分布有大、中、小型金、铜、银、硫多金属及钨、锡矿床(点)数十个, 南部有著名的赣东北德兴-铜厂斑岩铜矿床(图 1)。区内金矿床(点)多赋存于中元古界双桥山群浅变质深海浊积岩系中, 并沿 NE 向断裂发育于燕山期花岗岩体附近, 构成若干 NE 向的金矿密集带。大背坞—赖家密集带处于障公山复背斜南翼, 出露地层为双桥山群, 岩浆岩主要为燕山期中酸性岩体和岩脉, 少量中基性脉岩。鹅湖花岗岩体出露面积 160 km<sup>2</sup>, 形成于 157×10<sup>6</sup>~120×10<sup>6</sup> a, 有 4 个侵入阶段, 主体岩相形成于 132×10<sup>6</sup>~120×10<sup>6</sup> a, 岩性为中粗粒含斑黑云母二长花岗岩; 桃岭岩体位于研究区东北部, 同位素年龄为 151×10<sup>6</sup> a, 岩性与鹅湖岩体相似; 中酸性岩脉主要沿断裂带分布, 包括闪长玢岩、石英闪长岩、石英斑岩、斑状花岗岩和花岗斑岩等。该区共有 3 个方向的 4 组断裂构造, 即个体呈 NEE 向延伸, 而总体呈 NE 向斜列的韧性剪切带、NEE 向和 NNE 向的脆性断裂构造。已识别出大背坞—洋乐桥、猫儿颈—赖家—李家村和金竹山 3 条 NEE 向的韧性剪切带。在剪切带内及其附近的双桥山群浅变质岩中广泛发育有斑点状构造, 斑点成分为黄铁矿、菱铁矿、绿泥石和堇青石。主要的脆性断裂有程家庙断裂(伴有热液蚀变和金矿化)、汪家村-桃岭断裂(伴有热液蚀变, 未见金矿化)、墩口断裂(伴有 Sb、Cu 矿化)和天井坞-里池坞断裂(伴有强烈的硅化、黄铁矿化和金矿化)。

### 1.2 矿床地质特征

矿区面积约 4.5 km<sup>2</sup>, 出露地层为双桥山群(Pt<sub>2</sub>sh)第一至第三岩性组(Pt<sub>2</sub>sh<sub>1</sub>—Pt<sub>2</sub>sh<sub>3</sub>)。

<sup>\*</sup> 本文系地质矿产部定向科研项目成果

王平安, 男, 1963 年生, 副研究员, 长期从事矿床地质及区域成矿规律研究。邮政编码: 100081

1997-03-03 收稿, 1997-04-08 修改回

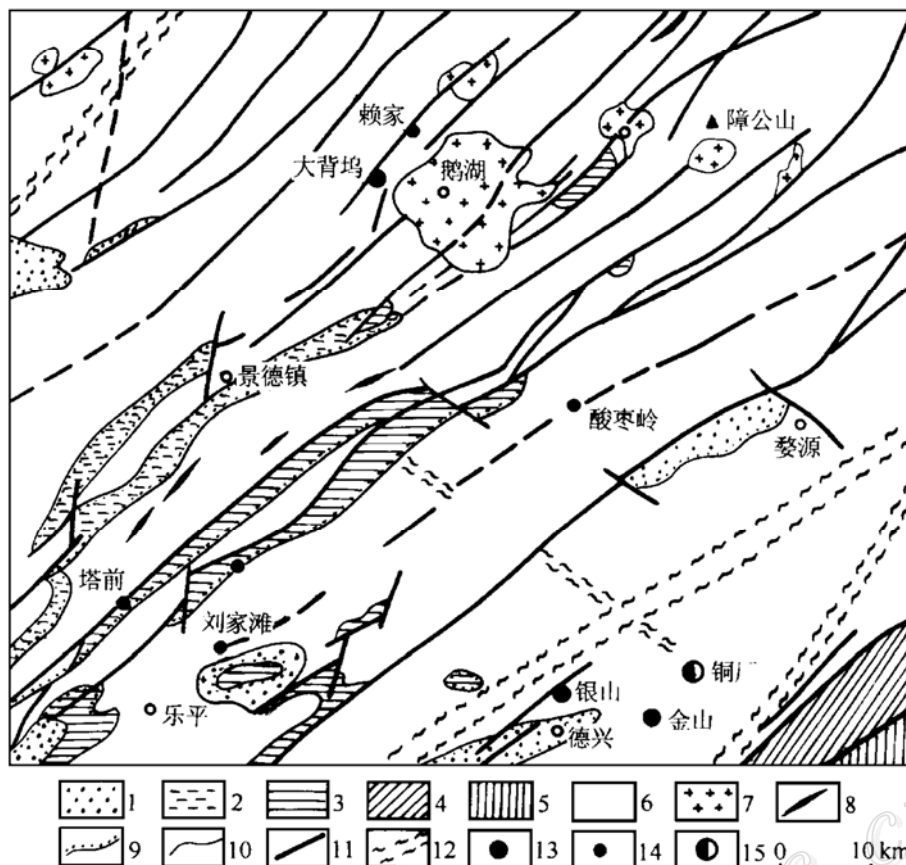


图1 大背坞金矿床区域地质及矿产分布简图

1—侏罗-白垩系；2—三叠系；3—石炭-二叠系；4—寒武-奥陶系；5—震旦系；6—中元古界；7—燕山期花岗岩；8—中酸性岩脉；9—不整合界线；10—地质界线；11—断裂；12—韧性剪切带；13—金矿床；14—金矿点；15—铜（钼）矿床

Fig. 1. Regional geological setting of the Dabewu gold deposit, showing distribution of mineral resources.

1—Jurassic-Cretaceous; 2—Triassic; 3—Carboniferous-Permian; 4—Cambrian-Ordovician; 5—Sinian; 6—Mesoproterozoic; 7—Yanshanian granite; 8—Intermediate-acid vein; 9—Unconformity; 10—Geological boundary; 11—Fault; 12—Ductile shear zone; 13—Gold deposit; 14—Gold ore spot; 15—Copper (molybdenum) deposit.

第二岩性组发育有韧性剪切构造，为重要赋矿围岩（图1、图2）。鹅湖花岗岩体位于矿区东部1~3 km处，矿区内亦见有小规模的辉绿岩和石英闪长玢岩脉。矿床处于NEE—NE向的大背坞-洋乐桥韧性剪切带形变、相变最强的西部地段，在断续长2.5 km、宽0.5 km的剪切带中，发育有数十条含矿或矿化挤压破碎带。据江西地勘局916队资料和作者研究，Au元素在双桥山群第二岩性组（Au丰度 $6.90 \times 10^{-9}$ ）的韧性剪切带内得到进一步富集，达到 $40 \times 10^{-9} \sim 42.99 \times 10^{-9}$ ，说明韧性剪切带的形成过程对Au起到一定聚集作用，成为后期成矿的良好物质基础。在韧性剪切构造之上发育起来的浅层次脆性构造（含脉挤压带构造，图2、图3），既有挤压带特征，又含大量石英脉，与金矿化和矿体的产出有密切空间联系。该区石英脉产出形态较复杂，或呈褶皱状，或沿脆性挤压劈理和膝折面发育，还有呈团块状、透镜状和沿裂隙产出的分叉状石英脉，其中团块状和透镜状的石英脉与金矿化关系较密切。按矿物成分，可划分出石英脉、方解石铁白云石石英脉、含更长石绿泥石石英脉和含硫化物石英脉，后两种与金矿化关系最密切（围岩蚀变部分将做进一步论述）。

### 1.3 金矿体及矿床围岩蚀变特征

按挤压破碎带的发育程度、连续性和矿化程度，将矿区的挤压破碎带划分为南、北两束：南束规模较小，连续性差，长数十至 900 m，仅在少数破碎带内发现有工业矿化；北束规模、形变相变程度、连续性及其含矿性均远胜过南束，其中规模大者几乎纵贯全区，长达 2 km，整个北束破碎带控制了大背坞矿床的主要矿体（图 2）。全区矿体和矿化体达 36 个，其中 30 个发育在北束的挤压破碎带内，呈脉状、透镜状及串珠状。沿一条破碎带可发育多达 5 个以上的矿体或矿化体。规模较大的 3 个矿体分别为狮子坞矿段的 A8-2、A9-1 矿体和凤冠山矿段的 A6-1 矿体。A8-2 矿体实由几个小矿体组成，最长约 100 m，最宽 7~8 m，延深约 200 m（图 3）；A9-1 矿体+矿化体最长约 250 m，最宽不足 3 m，延深约 190 m；A6-1 矿体+矿化体地表断续出露长大于 380 m，深部连为一体，总长 720 m，单工程矿体厚度 0.7~5.79 m，地表出露最大标高 190 m，控制最低标高 38 m。

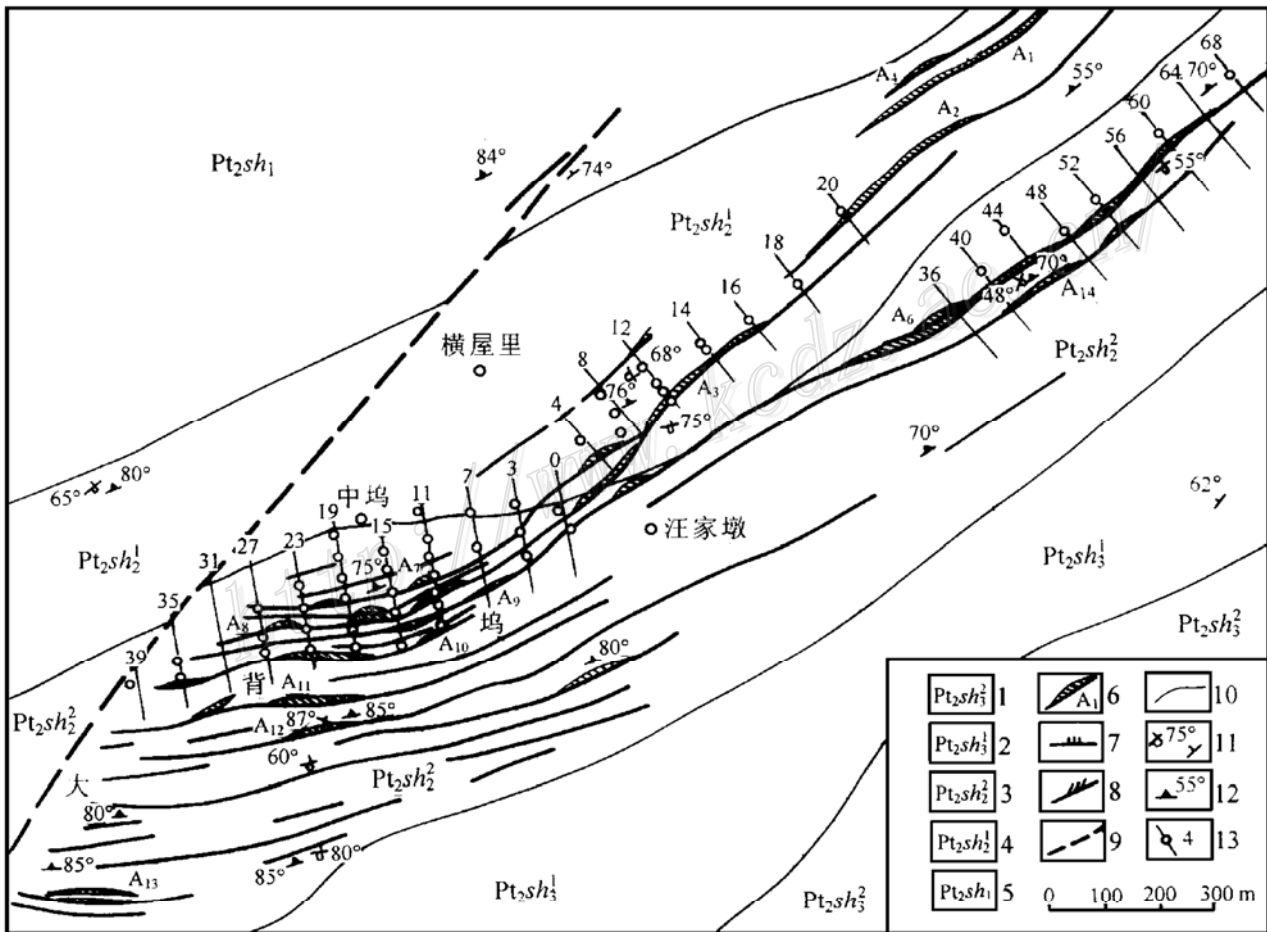


图 2 江西大背坞金矿区地质略图

1~4—双桥山群第三、二岩性组上、下段；5—双桥山群第一岩性组；6—金矿体及编号；7—挤压破碎带；8—压扭性断裂；9—推测断裂；10—地质界线；11—岩层产状；12—片、劈理产状；13—勘探线及钻孔编号

Fig. 2. Geologic sketch map of the Dabewu gold ore deposit, Jiangxi Province.

1~4—Upper and lower members of the 3rd and 2nd lithologic formations of Shuangqiaoshan Group; 5—1st lithologic formation of Shuangqiaoshan Group; 6—Gold orebody and serial number; 7—Compressional shatter zone; 8—Compresso—shear fault. 9—Inferred fault; 10—Geological boundary. 11—Attitude of strata; 12—Attitude of schistosity or cleavage; 13—Serial number of exploration line and drill hole.

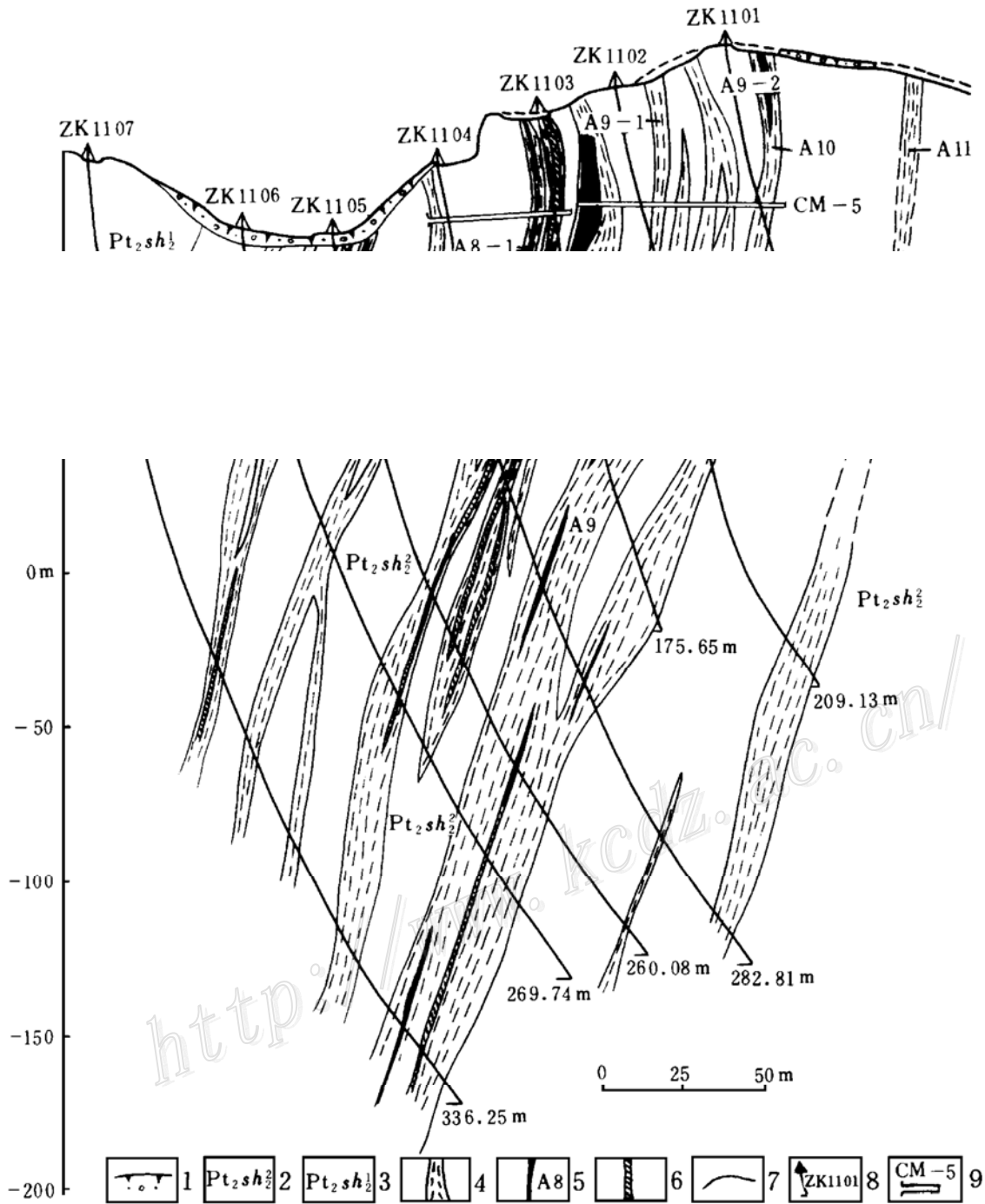


图3 大背坞金矿床11勘探线剖面图

1—第四系；2~3—双桥山群第二岩性组上、下段；4—挤压破碎带；5—金矿体及编号；6—表外矿体；7—岩性界线；8—钻孔及编号；9—坑道及编号

Fig. 3. Geological section along No. 11 exploration line of the Dabeiwu gold deposit.

1—Quaternary. 2~3—Upper and lower members of 2nd lithologic formation of Shuangqiaoshan Group; 4—Compressional shatter zone; 5—Gold orebody and serial number; 6—Substandard orebody; 7—Lithological boundary; 8—Drill hole and serial number; 9—Gallery and serial number.

金矿化常发生在含矿构造带内的石英脉体内及边部裂隙中，或在石英脉体边部（地表有褐铁矿化）。与金矿化有关的热液蚀变有硅化、黄铁矿化、褐铁矿化、绢云母及白云母化、绿

泥石化、碳酸盐化和更长石化等。从蚀变期次、强度及其与金矿化的关系上，大致可分出两个主要的蚀变期：①早期蚀变。主要表现为硅化、绿泥石化、黄铁矿化、碳酸盐化和绢云母化，具面型蚀变特征，伴随形成白色石英脉。此期蚀变形成于主成矿期之前，与金矿化有一定的空间关系，但并不十分密切；②晚期蚀变。主要表现为沿含矿构造带发育不连续的、呈线型分布的硅化（石英化）、绢云母化、黄铁矿化、绿泥石化和更长石化等蚀变，该期蚀变作用是主成矿期的产物，与金矿化之间有着十分密切的联系。其中，硅化和黄铁矿化蚀变作用最为强烈，与金矿化的关系最为密切，基本上贯穿了整个主成矿期，主要发育在含矿构造带内的早期石英脉中及其边部（以其颜色偏灰暗色调而与早期硅化石英相区分），或在其外侧的劈理化和碎裂化的糜棱岩内，与围岩界限不清，常由暗灰色石英组成小透镜体、豆荚、细脉和团块，其中分布较多浸染状的中、细粒黄铁矿及其集合体。样品测试结果表明，此种蚀变组合的产物含金较高，某些矿体和矿化体就是据对含黄铁矿的硅化体取样化验结果圈定的。被石英脉体所夹持或包含的糜棱岩块中也发现有此类蚀变现象。硅化的另一种表现形式是对石英脉外侧的矿体围岩（糜棱岩）的硅质交代作用，野外标志是糜棱岩变硬。绿泥石化多与硅化蚀变相伴产出。在含矿石英脉中有少量不均匀分布的更长石，它是一种由晚期岩浆分异的富含热液流体的硅酸盐直接结晶产物，还是与硅化相伴的一种独特蚀变现象，目前还不很确定，不过它与矿化的关系是可以肯定的，这里暂归入蚀变部分加以论述。绢云母（白云母）化发育于含矿石英脉体内部，或在其外侧的扭曲状构造片岩中，呈团块状、不规则状或脉状集合体。产在石英脉中的绢云母颗粒较大，呈放射状或束状鳞片变晶结构，亦可见团包状的白云母集合体（片径 2 mm）。此期绢（白）云母化蚀变往往伴有金属硫化物产出，属主成矿期热液蚀变，并与金矿化有密切关系。晚期碳酸盐化除与早期产出特征相似，区别是出现了方解石化。野外调查发现，上述蚀变强烈发育是在两期蚀变叠加的地段，往往金矿化也较好。镜下亦观察到蚀变矿物与自然金和金属硫化物紧密伴生或共生，充分反映了热液蚀变与金矿化之间的内在联系。

#### 1.4 矿石特征

矿石类型有自然金-黄铁矿-毒砂碎裂石英脉型和自然金-黄铁矿-毒砂蚀变碎裂糜棱岩型两种。矿石结构有自形一半自形及他形粒状，镶嵌、显微鳞片、斑状、纤状及齿状显微花岗等变晶结构以及变余糜棱、裂隙交代（充填）、碎裂（碎斑）及乳滴状结构等。矿石构造主要有片状、似条带状、浸染状、脉状、团块状、块状及角砾状构造。

矿石中金属矿物以黄铁矿和毒砂为主，少量或微量黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、辉钼矿、黝铜矿及自然金等。矿石中金属硫化物含量一般小于 1%。脉石矿物以石英和绢云母为主，次为白云石、铁白云石、绿泥石、方解石等。矿石形成经历了石英-少黄铁矿-毒砂阶段、石英-黄铁矿-毒砂阶段、石英-自然金-多金属硫化物阶段和碳酸盐阶段。前两个阶段形成的黄铁矿粒度较大，大者大于 10 mm，第三阶段黄铁矿粒度细，小者粒径不足 0.002 mm。金主要存在于黄铁矿、特别是中—细粒黄铁矿中，其次为毒砂和石英中，仅少量存在于黄铜矿和方铅矿中。一部分自然金也见于前两个阶段形成的较粗粒黄铁矿裂隙中，因而其形成的先后关系是显而易见的。自然金粒度以显微和细粒为主，二者占 80% 以上，中粗粒金亦占一定比例，但超分散金不是重要赋存状态。自然金成色多大于 980，含微量 Ag、Cu、Fe、Pb、Zn、As 及 Te 等。

## 2 矿床流体包裹体地球化学特征

### 2.1 基本特征

镜下观察表明,大背坞金矿床矿石中与金属矿物共生的石英中的流体包裹体个体一般较小,介于 $5.4\sim 14.4\ \mu\text{m}$ (长轴)之间。室温下大多为气-液包裹体, $V/(V+L)_{\text{体积}}$ (气相比例)一般为 $10\%\sim 40\%$ ;此外尚有一定数量含液相 $\text{CO}_2$ ( $L_{\text{CO}_2}$ )的气-液包裹体,液相 $\text{CO}_2$ 的体积占包裹体总体积的 $10\%\sim 30\%$ ,个别含液相 $\text{CO}_2$ 包裹体中的液相 $\text{CO}_2$ 体积可占包裹体总体积的 $70\%$ ,说明成矿流体中 $\text{CO}_2$ 的数量较多。

### 2.2 均一温度

28个原生流体包裹体的均一温度测试表明,大背坞金矿床成矿流体均一温度值的变化范围为 $180\sim 386\ ^\circ\text{C}$ ,其算术平均值为 $280\ ^\circ\text{C}$ ,基本上属于中—高温范畴。在均一温度频率分布直方图上显示为双峰式,峰值分别对应于 $190\ ^\circ\text{C}$ 和 $320\ ^\circ\text{C}$ (图4)。

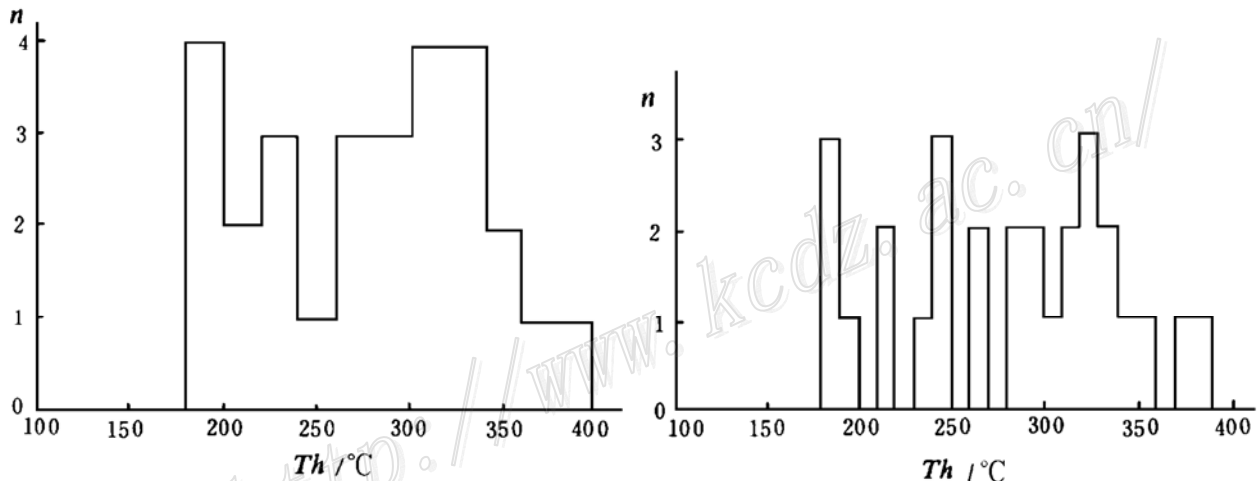


图4 大背坞金矿床流体包裹体均一温度频率分布直方图

Fig. 4. Histogram showing homogenization temperatures of fluid inclusions in the Dabeiwu gold deposit.

### 2.3 成矿压力、深度及流体捕获温度

采用B K Пуртов提出的 $\text{CO}_2$ 比容等值线测压法<sup>[14]</sup>,求得成矿流体压力值为 $576\times 10^5\ \text{Pa}$ 和 $596\times 10^5\ \text{Pa}$ (表1)。按 $10\ \text{m}$ 增压 $2.6\times 10^5\ \text{Pa}$ 的地压梯度计算,上述压力值相当于 $2.34\ \text{km}$ 和 $2.45\ \text{km}$ 的深度值。取平均压力为 $586\times 10^5\ \text{Pa}$ 、平均盐度为 $3.95\ \text{wt}\%\ \text{NaCl}$ 、平均温度为 $318\ ^\circ\text{C}$ ,在Potter(1977)给出的与温度、压力及盐度有关的含 $\text{NaCl}$ 包裹体压力校正图上<sup>[4]</sup>,查得温度校正值为 $53\ ^\circ\text{C}$ 。由此对18个含 $\text{NaCl}$ 的气-液包裹体进行校正,得到捕获温度为 $233\sim 423\ ^\circ\text{C}$ (表2),平均捕获温度为 $323\ ^\circ\text{C}$ ,表明成矿作用是在中—高温条件下发生的。

另外,在Roedder等给出的纯水及 $10\%$ 与 $25\%$ 的 $\text{NaCl}$ 溶液相图上<sup>[7]</sup>,应用内插法求得矿床中盐水溶液包裹体的形成压力为 $244\times 10^5\sim 826\times 10^5\ \text{Pa}$ (表2),分为两组为 $244\times 10^5\sim 286\times 10^5\ \text{Pa}$ (平均 $269\times 10^5\ \text{Pa}$ )和 $567\times 10^5\sim 826\times 10^5\ \text{Pa}$ (平均 $721\times 10^5\ \text{Pa}$ ),所代表的深度分别为 $0.938\sim 1.10\ \text{km}$ 和 $2.18\sim 3.18\ \text{km}$ 。18个盐水溶液包裹体的平均压力为 $594\times 10^5$

Pa，与用 CO<sub>2</sub> 等值线法求得的压力值十分接近，可以互为验证。

表 1 大背坞金矿床含液相 CO<sub>2</sub> 包裹体等值线法测压结果

Table 1. Pressure measured by contour method of liquid CO<sub>2</sub>-bearing inclusions in the Dabeiwu gold deposit

样品号	部分均一温度/℃	CO <sub>2</sub> / (wt%)	$\rho_{\text{CO}_2}$ / (g/cm <sup>3</sup> )	CO <sub>2</sub> 比容/ (g/cm <sup>3</sup> )	$p_{\text{流体}}$ / (10 <sup>5</sup> Pa)
PD25-1	25	30	0.703	2.032	596
PD25-2	21	40	0.755	2.208	576

表 2 大背坞金矿床成矿流体密度、压力和捕获温度

Table 2. Density, pressure and trapped temperature of ore-forming fluids in the Dabeiwu gold deposit

样品号	均一温度/℃	捕获温度/℃	流体密度/ (g/cm <sup>3</sup> )	$p$ / (10 <sup>5</sup> Pa)
PD7-30-1	265	318	0.812	286
PD7-30-2	370	423	0.618	
PD7-30-4	358	411	0.636	
PD7-30-5	345	398	0.660	276
PD7-30-6	323	376	0.708	641
PD7-30-7	319	372	0.725	675
F29-5-1	210	263	0.894	665
F29-5-2	280	333	0.799	695
F29-5-3	210	263	0.891	739
F29-5-4	235	288	0.862	808
PD11-1-1	266	319	0.800	690
PD11-1-2	335	388	0.667	567
PD11-1-3	289	352	0.765	826
PD11-1-4	316	369	0.712	244
PD25-5	188	241	0.908	808
PD25-6	195	248	0.902	776
PD25-7	180	233	0.917	744
PD25-8	180	233	0.917	744

#### 2.4 成矿流体的盐度、密度及成分特征

该矿床成矿流体的盐度值很低，大多小于 5 wt% NaCl，一般为 2.7~5.1 wt% NaCl，平均 3.9 wt% NaCl。这种低盐度特征表明成矿流体不会是地下热卤水和海水，而与世界上大多数脉状浅成低温热液 Au、Ag 多金属矿床很相似，后者盐度多在 6 wt% NaCl 以下，极少超过 11 wt% NaCl<sup>[6]</sup>。根据包裹体均一温度和盐度计算的流体密度介于 0.618~0.917 g/cm<sup>3</sup> 之间（表 2），均小于 1.0 g/cm<sup>3</sup>，这与大多数岩浆热液的流体（密度小于 1.0 g/cm<sup>3</sup>）具一定相似

性<sup>[5]</sup>。

该矿床流体包裹体的液相成分以  $\text{Na}^+$  和  $\text{Cl}^-$  为主, 其次为  $\text{K}^+$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$  和  $\text{F}^-$ , 少量  $\text{Ca}^{2+}$  (表 3)。流体中阳离子和阴离子的总数 ( $\Sigma^+$  和  $\Sigma^-$ ) 分别为 0.249~0.590 和 0.213~0.261。 $\text{K}^+/\text{Na}^+$  离子数比值为 0.0176 和 0.260, 按 White 提出的 K/Na 原子比温度计<sup>[8]</sup>, 求得温度值为 100~500℃, 比实测均一温度的变化范围要宽一些。所测样品基本不含  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{NO}_3^-$  和  $\text{PO}_4^{3-}$ , 其阳离子的  $\text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$  离子数比值为 59.54,  $\text{Ca}^{2+} / \text{Na}^+$  离子数比值为 0.019; 阴离子的  $\text{F}^- / \text{Cl}^-$  离子数比值为  $8.4 \times 10^{-4} \sim 186 \times 10^{-4}$ , 平均  $73.1 \times 10^{-4}$ ;  $\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-$  离子数比值为  $6.53 \times 10^{-3} \sim 11.8 \times 10^{-3}$ , 平均  $9.07 \times 10^{-3}$ 。上述比值说明成矿流体中  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{F}^-$  及  $\text{SO}_4^{2-}$  的含量极低, 属于 Na-Cl 型。一般  $\text{Cl}^-$  含量高有利于矿液萃取和搬运 Au 及其它重金属离子 (与  $\text{Cl}^-$  形成氯基络合物), 但大背坞金矿床成矿流体中  $\text{Cl}^-$  的总体浓度并不很高, 仅为 7.84~22.23  $\mu\text{g/g}$ , 因而在一定程度上限制了这一功能的发挥。

表 3 大背坞金矿床流体包裹体液相成分

Table 3. Liquid phase components of fluid inclusions in the Dabeiwu gold deposit

成分 样号	液相成分 / ( $\mu\text{g/g}$ )									离子数及比值				
	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\Sigma^+$	$\text{F}^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\Sigma^-$	$\text{K}^+/\text{Na}^+$	$\text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$	$\text{Ca}^{2+} / \text{Na}^+$	$\text{F}^- / \text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-} / \text{Cl}^-$
PD11-1	5.89	2.60	0.00	0.00	0.323	0.01	7.84	0.18	0.213	0.260	—	0.00	0.0025	0.00889
PD7-30	13.06	0.39	0.44	0.00	0.590	0.01	22.23	0.71	0.786	0.0176	59.54	0.019	0.00084	0.0118
F29-5	5.72	0.00	0.00	0.00	0.249	0.09	9.04	0.16	0.261	0.00	—	0.00	0.0186	0.00653

注: 由中国地质科学院矿床地质研究所程莱仙等测试

包裹体的气相成分以  $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{CO}_2$  为主, 此外含少量的  $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}$  及  $\text{N}_2$  (表 4)。结合液相

表 4 大背坞金矿床流体包裹体气相成分

Table 4. Gas phase components of fluid inclusions in the Dabeiwu gold deposit

样号	PD11-1		PD7-30		F29-5	
	$\mu\text{g/g}$	mol%	$\mu\text{g/g}$	mol%	$\mu\text{g/g}$	mol%
$\text{H}_2\text{O}$	6780.18	92.85	1016.75	96.34	645.80	96.491
$\text{CO}_2$	108.34	6.14	73.23	2.838	48.93	2.99
$\text{CH}_4$	0.71	0.11	0.23	0.0245	0.00	—
$\text{CO}$	0.98	0.0873	0.59	0.0359	0.66	0.0634
$\text{N}_2$	9.16	0.816	12.46	0.759	4.74	0.455
$m_{(\text{CO}+\text{CH}_4)}/m_{\text{CO}_2}$	0.0321		0.0213		0.0212	
$m_{\text{CO}_2}/m_{\text{H}_2\text{O}}$	0.0661		295		0.0310	

注: 样品由中国地质科学院矿床地质研究所程莱仙、陈伟十测试

成分分析, 可以认为该矿床成矿流体是以  $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{NaCl}$ - $\text{CO}_2$  为主的流体体系。按李秉伦等 (1984) 所定义的气体还原参数<sup>[1]</sup>, 该矿床成矿流体的气体还原参数为 0.0212~0.0321。气相



成分中  $m_{\text{CO}_2}/m_{\text{H}_2\text{O}}$  的值很低，为 0.0295 ~ 0.0661，显示与岩浆热液有一定关系。

## 2.5 成矿流体的氢、氧同位素特征

大背坞金矿床矿石中石英和方解石矿物的  $\delta^{18}\text{O}$  值介于 +14.75‰ ~ +16.9‰ 之间，高于一般花岗岩及伟晶岩 ( $\delta^{18}\text{O}$  值为 +7‰ ~ +13‰)<sup>[9]</sup>。与之相应的流体包裹体水的  $\delta\text{D}$  测试值为 -55‰ ~ -65‰。按 Clayton 等给出的石英-水体系中氧同位素分馏随温度变化的关系<sup>[10]</sup>，依 3 件样品的平均捕获温度 (323℃)，求得到成矿流体的  $\delta^{18}\text{O}$  值为 +9.88‰ ~ +10.78‰。由图 5 可见，成矿流体中水的氢、氧同位素组成投影点位于岩浆水区及与其紧邻的变质水区。结合矿床地质特征分析，本文作者认为大背坞金矿床的成矿流体是一种以岩浆水为主、混有变质残留晶间水的混合流体。

值得注意的是，与国内外许多热液矿床比较<sup>[2]</sup>，大背坞金矿床矿物氧的  $\delta^{18}\text{O}$  值 (平均 +16.1‰) 是相当高的。这与容矿围岩双桥山群变质海相沉积岩中含较多碳酸盐矿物有关，因海相碳酸盐的  $\delta^{18}\text{O}$  值甚高，可达 +20‰ ~ +30‰。在酸性介质条件下，碳酸盐矿物易于被溶蚀交代，从而使热液系统中的  $\delta^{18}\text{O}$  比例增高。 $\delta^{18}\text{O}$  值高还证明热液系统中雨水大规模参与的可能性不大，因地球上不同纬度地区雨水的  $\delta^{18}\text{O}$  值均很低 (一般 -30‰ ~ +5‰)，当其与岩石或矿物发生较强的氧同位素交换反应时，常可使后者的  $\delta^{18}\text{O}$  值大幅度降低，甚至成为负值<sup>[11]</sup>。另外，页岩和深海沉积物的  $\delta^{18}\text{O}$  值为 +5‰ ~ +25‰<sup>[9]</sup>，而变质沉积岩中石英的  $\delta^{18}\text{O}$  值为 +14‰<sup>[12]</sup>。由此看来，该矿床矿物的氧与沉积岩有一定关系。不过，由岩浆水 ( $\delta^{18}\text{O} = +6‰ \sim +8‰$ ) 与雨水组成的热流体在对流循环过程中与双桥山群变沉积岩中的含氧矿物发生氧同位素交换反应、并优先与其中的碳酸盐发生交换的机制，可以解释该矿床中含氧脉石矿物石英和方解石所具有的高  $\delta^{18}\text{O}$  值同位素组成特征。

## 3 矿床成矿物质来源

### 3.1 硫、铅同位素特征

矿石中黄铁矿和毒砂的  $\delta^{34}\text{S}$  值分别为 -7.1‰ ~ -4.9‰ 和 -11.8‰ ~ -10.7‰，黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  平均值为 -6.0‰。因未发现硫酸盐，故发生强烈硫同位素分馏的可能性不大，硫同位素分馏作用主要发生在早期和晚期形成的硫化物之间。一般在中性—弱酸性环境下，由同一溶液早期和晚期所晶出的黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  值相差不大，为 1‰ ~ 2‰，而在碱性介质条件下可达 15‰。大背坞金矿床围岩蚀变特征 (以绢云母化为主，伴有绿泥石化和硅化) 显示其形成的流体介质为弱酸性，故黄铁矿的硫同位素特征与前一种情形相似。据矿石矿物组合分析，该矿床成矿溶液总的硫同位素组成应与黄铁矿的  $\delta^{34}\text{S}$  平均值相当，即为 -6.0‰ 左右。该值与地球

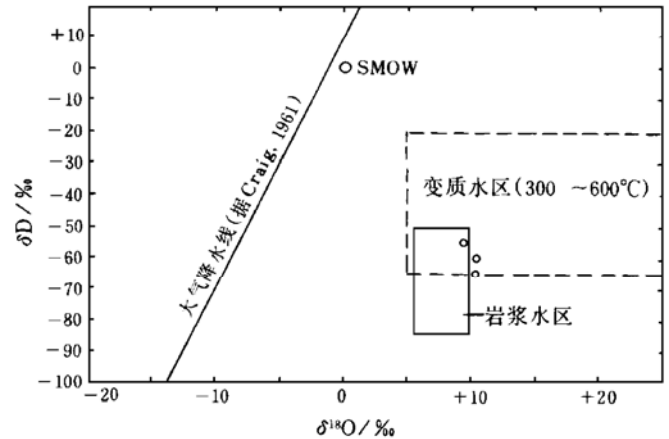


图 5 大背坞金矿床成矿流体水的  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta\text{D}$  关系图

Fig. 5.  $\delta^{18}\text{O}$  versus  $\delta\text{D}$  diagram of water in ore-forming fluids of the Dabeiwu gold deposit.

沉积壳中地槽或大洋壳黄铁矿的平均硫同位素组成(地槽 $-5.6\%$ ,大洋壳 $-9.2\%$ )相近<sup>[3]</sup>。故初步认为该矿床的硫主要来自本区地槽沉积物,即双桥山群浅变质海相沉积岩系。

大背坞金矿床矿石铅同位素组成见表5。由表5可见,大背坞金矿床矿石铅的同位素组成具有一定的变化范围,反映其不是严格意义上的单阶段演化铅<sup>[8]</sup>,因而用单阶段演化模式计算出的模式年龄也有较大的变化范围( $509 \times 10^6 \sim 422 \times 10^6$  a)。这组模式年龄值并不代表成矿年代,也不直接反映铅源区年龄,而是指示源区年龄大于  $509 \times 10^6$  a。另外,在 Zartman 等的铅同位素演化图上<sup>[13]</sup>,大背坞金矿床矿石铅投点位置处于上地壳与造山带铅平均演化曲线之间,但以壳源铅为主。我们认为该矿床的矿石铅主要来源于前寒武纪变质沉积岩,包括双桥山群及其下伏的未出露地层。因双桥山群中含有一定数量的角斑岩或细碧角斑岩,因而使得此种来源的矿石铅在铅构造学上具有造山带特色。

表5 大背坞金矿床矿石铅同位素组成

Table 5. Lead isotopic composition of ores from the Dabeiwu gold deposit

取样	位置	测试矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	单阶段模式年龄/( $10^6$ a)
ZK1104	158~162 m	黄铁矿	17.575	15.573	37.886	509
ZK1104	158~162 m	毒砂	17.738	15.655	37.842	484
TC0-2		黄铁矿	17.799	15.641	37.965	422

注:原始数据引自江西地勘局916地质队,1992;模式年龄计算采用常数: $a_0=9.307$ , $b_0=10.294$ (立本等,1973), $\lambda_{238}=1.55125 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ , $\lambda_{235}=9.8485 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}$ (Jaffey等,1971),地球年龄 $t=44.3$ 亿年(Doe等,1974)

### 3.2 碳、硅、锶同位素

据江西地勘局916地质队(1992)资料,该矿床矿石中方解石的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ 值为 $-5.3\%$ ,介于海相碳酸盐岩( $\delta^{13}\text{C} \approx 0$ )和深成岩浆源碳( $\delta^{13}\text{C} = -7.0\%$ )之间,并接近于后者,亦即成矿流体的碳主要源于花岗质岩浆,部分源于地层中的海相沉积碳酸盐。矿石中的石英和围岩双桥山群地层中千枚状斑点板岩的 $\delta^{30}\text{Si}$ 值分别为 $-0.5\%$ 和 $-4.0\%$ (江西地勘局916地质队,1992),二者均为负值且较为接近,表明矿床与围岩地层中的Si具有亲缘关系。该矿床近矿围岩蚀变类型(绢云母化、绿泥石化和硅化等)也证实,成矿热液与围岩地层发生蚀变反应的过程可以使地层中的硅质进入到热液系统中去。根据矿床中热液蚀变矿物的Rb-Sr等时线测定,得到成矿热液的初始锶同位素比值( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub>为0.711279;而鹅湖花岗岩体的( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ )<sub>i</sub>值为0.7162~0.7214<sup>①</sup>,二者非常接近,且均大于0.710。这一方面说明这两者中的Sr均为地壳来源,也说明成矿热液中的部分成矿物质来自于燕山期花岗岩。

## 4 成矿年代

热液矿床中同成矿期形成的热液蚀变产物的形成年代,可以用来近似地代表与其共生的热液矿床的形成年代。据此,我们选取了6件矿石中的热液蚀变矿物进行了Rb-Sr等时线年

① 江西地勘局916地质队,1993,1/5万峙滩幅、鹅湖幅地质测量报告,内部资料

龄测定，6 个测点拟合一条斜率为  $0.0016782 \pm 0.000018$  的等时线（图 6），其相关系数为 0.999548，获得年龄值为  $(118.08 \pm 1.26) \times 10^6$  a。该年龄值与鹅湖花岗岩体主体相的成岩时代  $132 \times 10^6 \sim 120 \times 10^6$  a 很接近，成矿稍晚于花岗岩侵位，二者之间显示了很好的时间对应关系。

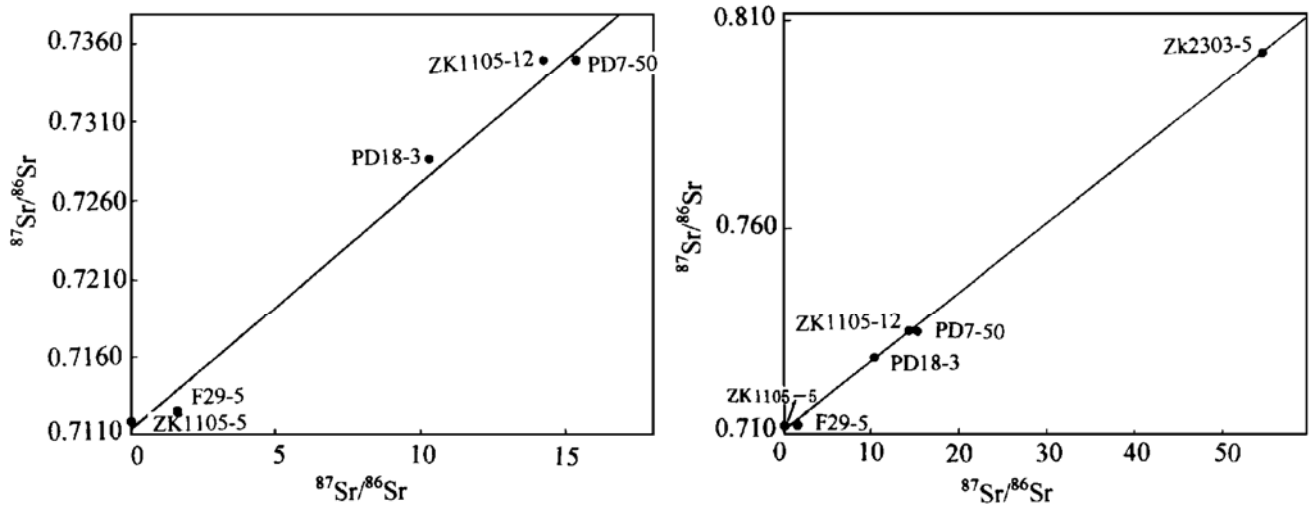


图 6 大背坞金矿床矿石中蚀变矿物的 Rb-Sr 等时线

Fig. 6. Rb-Sr isochron line of altered minerals from ores of the Dabeiwu gold deposit.

## 5 结 论

大背坞金矿床多数矿体发育于韧性剪切带内，并与其中的挤压破碎带有密切的空间关系；与成矿有关的花岗岩的形成时代为  $157 \times 10^6 \sim 120 \times 10^6$  a，主体岩相形成于  $132 \times 10^6 \sim 120 \times 10^6$  a；矿床成矿年代为  $119.34 \times 10^6 \sim 116.82 \times 10^6$  a，稍晚于花岗岩的形成时代；矿床形成温度为  $180 \sim 423$  °C，以  $260 \sim 360$  °C 为主，属中高温的温度范畴；形成压力为  $244 \times 10^5 \sim 826 \times 10^5$  Pa，主要压力阶段为  $576 \times 10^5 \sim 826 \times 10^5$  Pa。成矿流体为  $H_2O-NaCl-CO_2$  型，盐度为 2.7 ~ 5.1 wt% NaCl，平均盐度为 3.9 wt% NaCl；流体密度为  $0.618 \sim 0.917$  g/cm<sup>3</sup>；成矿流体中水的氢氧同位素组成  $\delta^{18}O$  为  $+8.6\% \sim +10.8\%$ ； $\delta D$  为  $-65\% \sim -55\%$ ，表明其为岩浆水与少量变质水的混合液。成矿流体的初始锶同位素比值为 0.7113，属上地壳来源。前燕山期的沉积、变质及构造活动仅为金的最终成矿提供一定的物质基础和构造空间条件以及流体运移通道；燕山期的构造-岩浆活动则为成矿提供了热液流体、热动力及一些成矿物质，并最终形成具工业意义的金矿床。

工作过程中得到地矿部江西地勘局 916 地质队的大力支持与帮助，作者谨表诚挚谢忱！

## 参 考 文 献

- 1 李秉伦，石岗. 矿物中包裹体气体成分的物理化学参数图解. 地球化学, 1986, (2): 126~137
- 2 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用. 西安: 陕西科学技术出版社, 1985

- 3 В А 格里年科, Л Н 格里年科, 硫同位素地球化学. 赵瑞译. 北京: 科学出版社, 1980
- 4 Potter R W II, Brown D L. The volumetric properties of aqueous sodium chloride solutions from 0°C to 500°C and pressures up to 2000 bars based on a regression of available data in the literature. U. S. Geol. Survey. Bull., 1977, 1421—C
- 5 Roedder E, Bodner R J. Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies. Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 1980, 8: 263~30
- 6 Spooner E T C. Fluid inclusion studies of hydrothermal ore deposits. In: Hollister L S, Crawford M L, eds. Fluid inclusions: Applications to petrology, 1981. 209~240
- 7 Roedder E. Fluid inclusion evidence on the genesis of ores in sedimentary and volcanic rocks. In: Wolf K H, ed. Handbook of stratabound and stratiform ore deposits. Elsevier Amsterdam, 1976. 67~110
- 8 White. Environments of generation of some basemental ore deposits. Econ. Geol., 1968, 63: 301~335
- 9 Faure G. Principles of isotope geology. John Wiley & Sons, 1977
- 10 Clayton R N, O'Neil J R, Mayeda T. Oxygen isotope exchange between quartz and water. Jour. Geophys. Research, 1972, 77: 3057~3067
- 11 Taylor H P Jr. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition. Econ. Geol., 1974, 69: 843~883
- 12 Garlick G D, Epstein S. Oxygen isotope ratios in coexisting minerals from regionally metamorphosed rocks. Geochim. Cosmochim. Acta, 1967, 31: 181~214
- 13 Zartman R E, Doe B R. Plumbtectonics—the model. Tectonophysics, 1981, 75: 135~162
- 14 Пуртов В К. К методике определения температуры и давления кристаллизации минералов по газово — жидким включениям. Геохимия, 1974 (4)

## GEOLOGY AND GEOCHEMISTRY OF THE DABEIWU GOLD DEPOSIT, JIANGXI PROVINCE

Wang Ping'an, Dong Faxian, Liu Jianmin, Chen Bailin, Zhu Yongyu

(Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081)

Shen Tingyuan

(No. 916 Geological Party, Jiangxi Bureau of Exploration and Development of  
Geology and Mineral Resources, Jiujiang 332100)

**Key words:** geology, geochemistry, genesis, gold deposit, Dabaiwu, Jiangxi

### Abstract

Located on the west side of a Late Mesozoic granitic intrusive ( $132 \times 10^6 \sim 120 \times 10^6$  a), the Dabaiwu gold deposit is hosted by the 2nd Lithologic Formation of metasedimentary rocks of the Mesoproterozoic Shuangqiaoshan Group. Orebodies occur as veins, lenses or beads within or outside the quartz veins, controlled by a ductile shear zone and the compressional fracture zones in this ductile shear zone. Au abundances are  $6.90 \times 10^{-9}$  in the 2nd Lithologic Formation of the Pt<sub>2~3</sub> Shuangqiaoshan Group, and  $(40 \sim 42.99) \times 10^{-9}$  in the ductile

tile shear zone of the same formation. Rb-Sr isochron ages of  $(118.08 \pm 1.26) \times 10^6$  a were obtained through the measurement of hydrothermal altered minerals such as chlorite, calcite, hydromica and moscovite from the orebodies. Fluid-inclusion studies of quartz yield homogenization temperatures of  $180^\circ\text{C}$  to  $386^\circ\text{C}$ , trapping temperatures  $233^\circ\text{C}$  to  $423^\circ\text{C}$ , and fluid pressures of  $(224 \sim 826) \times 10^5$  Pa. Salinities of primary fluid inclusions range from 2.7 to 5.1 wt% NaCl equivalent and densities are 0.618 to 0.917 g/cm<sup>3</sup>. Isotope geochemical studies show that  $\delta^{34}\text{S}$  values of pyrite and of arsenopyrite range from  $-7.1$  to  $-4.9$  per mil and from  $-11.8$  to  $-6.0$  per mil, respectively.  $\delta^{13}\text{C}$  volume of calcite from the ore is  $-5.3$  per mil, and its  $\delta^{18}\text{O}$  is  $+15.9$  per mil.  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta\text{D}$  values of quartz are  $+14.8$  to  $+16.9$  per mil and  $-65$  to  $-60$  per mil, respectively. Volumes of  $\delta^{18}\text{O}_{\text{water}}$  evaluated from fluid-inclusion trapping temperatures range from  $+8.63$  to  $+10.78$  per mil.  $\delta^{30}\text{Si}$  volumes of quartz from the ore vein and the Mesoproterozoic knotted slate are  $-0.5$  and  $-4$  per mil, respectively. Initial strontium isotope ratios of the altered minerals and of the granite are 0.711279 and 0.7162~0.7214, respectively. Sulfur, lead, carbon, silicon, oxygen hydrogen and strontium isotopic data indicate that the ore-forming substances of this deposit were derived mainly from the crust, and the ore-forming fluids were mainly magmatic fluids and subordinately metamorphic residual intercrystalline fluids. Mineralization was mainly associated with the Late Mesozoic granitic magmatism.

Based on the study of its geology, geochemistry, metallogenic epoch and ore-control structures, it is concluded that the Dabewu gold deposit is a mesothermal to hypothermal type gold deposit related to the Yanshanian granitic magmatism and controlled by magmatite and shattered zones. This conclusion is rather different from the previous genetic view that the deposit was of the shear zone type formed in Neoproterozoic.