

# 紫金山铜金矿床成矿流体与成矿模式\*

魏家秀 陶恭益

(中国地质科学院矿床地质研究所, 北京)

**提 要:**紫金山铜金矿床位于闽西南海西-印支拗陷之西南部, 上杭-云霄断裂带与宣和复背斜构造交汇处。通过流体包裹体和稳定同位素等工作, 结合成矿地质条件, 研究、观察铜金矿床的流体包裹体特征, 测定成矿流体的 T、P、D、X (组分)、 $\delta^{18}\text{O}$  和  $\delta\text{D}$ ; 测算 pH 和 Eh 值以及 W/R、 $f_{\text{O}_2}$  和  $f_{\text{CO}_2}$  等参数。总结该铜金矿床为中低温酸性火山热液成矿特征; 溶液体系由 KCl-NaCl-H<sub>2</sub>O-H<sub>2</sub>S 向 CO<sub>2</sub>-NaCl-H<sub>2</sub>O-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 演化; 铜金成矿热液具有成矿早期以火山-岩浆深源为主, 晚期有大量大气降水补给的中酸性火山热液性质。在上述研究基础上, 探讨其矿床成因与成矿模式, 对于进一步在火山岩地区寻找紫金山式铜金矿床具有实践意义和理论意义。

**关键词:** 成矿流体 成矿模式 紫金山铜金矿床

紫金山大型铜金矿床是我国典型的浅成中低温火山热液型铜金矿床。区内频繁强烈的火山喷发、隐爆活动, 起到了导矿、控矿作用。热液蚀变作用与铜金成矿作用几乎同步进行。铜矿定位于石英-明矾石(迪开石)蚀变岩带, 其矿石矿物组合独特, 主要为硫砷铜矿-蓝辉铜矿-辉铜矿-铜蓝。金成矿与晚期石英-硅化岩带关系密切。该矿床规模大, 品位高, 埋藏浅、易开采, 同时具有“上金下铜”的成矿规律。紫金山铜金矿床为近年来我国发现的大型隐伏矿床, 它具有重大的工业价值和研究价值。

## 1 成矿地质环境

紫金山铜金矿床位于我国华南褶皱系之东部、闽西南海西-印支拗陷带的西南, 上杭-云霄北西向深断裂带与北东向宣和复背斜构造交汇处。区内主要有震旦系、泥盆系、石炭系、侏罗系和白垩系等地层出露。北东向断裂和北西向断裂带组成网格式构造, 成为紫金山地区主要构造格局。断裂、裂隙控岩控矿为本区主要构造特征。

该地区火山活动频繁、强烈。燕山晚期形成的在紫金山顶之东南侧的, 一个以英安玢岩为中心的火山机构, 直径达 700 m, 主要由喷发相、喷溢相、次火山岩相和隐爆角砾岩相组成。区内岩石普遍受到了强烈的热液蚀变改观。火山气热沿着紫金山火山口向四周或沿北西向断裂构造多次交代、充填、渗滤, 形成一套高 Si、富 K、Al 的蚀变岩相。同时它具有水平侧向和垂直蚀变分带的规律性。铜矿的形成与石英-明矾石带同步, 金则与石英-硅化岩带关系密切。

\* 国家自然科学基金(项目编号 49473184)资助项目, 地质行业科学技术发展基金(项目编号 959617)资助项目  
魏家秀, 女, 59岁, 研究员, 长期从事矿物学、矿床学和包裹体地球化学研究, 专长成矿流体地球化学研究。  
邮政编码: 100037

## 2 流体包裹体类型及特征

按照矿物包裹体形成的原理,它的形成,代表着包裹它的主矿物生成时的物理化学条件和地球化学环境。一个流体包裹体可作为独立的地球化学体系研究之。每个包裹体即代表与其主矿物形成过程起作用的流体相。首先,我们通过紫金山的成矿流体包裹体研究,阐明该铜金矿的流体相类型、特征,并测试其温度、盐度、密度、压力、pH和Eh值,及其气、液相成分和稳定同位素等各项参数。

综合起来,紫金山流体包裹体有以下五大类型:Ⅰ气-液包裹体:为主要类型,气液比( $V$ )=40%~10%~1%;Ⅱ气体包裹体: $V \geq 50\%$ 者;Ⅲ含 $L_{CO_2}$ 多相包裹体:在气、液相之间,有 $CO_2$ 流体相存在;Ⅳ含子矿物的多相包裹体:子矿物为NaCl和KCl+NaCl;Ⅴ单一液相包裹体:几乎不含气相者( $V \approx 0\%$ )。

上述五种类型的包裹体,常常产于同一裂隙,同一晶体之中,这是沸腾流体存在的特征。随铜金矿形成,流体被圈闭,保留至今。包裹体的大小,一般为10~20 $\mu m$ ;以具有主矿物负晶形及规则形状(方形、长方形等)者居多,也可见纺锤状、珠滴状、叶片状等不规则形状。其分布与产状,往往与各自的成因类型有关:原生者成孤立、平行晶棱、晶面生长;次生者沿裂隙成线成行排列;假次生者沿愈合裂隙成排产出。

## 3 成矿流体物理化学

### 3.1 均一温度

所测得的均一温度数据,可投于紫金山铜金矿床形成温度直方图。

该矿床成矿温度表现为三峰型直方图,三个高峰即代表铜金成矿<sup>[1]</sup>。420~300 $^{\circ}C$ :硫砷铜矿-兰辉铜矿-黄铜矿(少量),石英-迪开石;石-绢云母-迪开石蚀变岩带;300~200 $^{\circ}C$ :兰辉铜矿-辉铜矿-铜兰,石英-明矾石;石英-迪开石蚀变岩带;220~100 $^{\circ}C$ :金-黄铁矿-褐铁矿;石英-硅质交代岩带。同时表明:随温度由高至低,绢云母-迪开石-明矾石和石英-硅质等各交代岩带,依次形成的规律性,以及铜,金成矿的专属性。

### 3.2 盐度与密度

在谢克斯梅卡(Chaixmeca)冷热台上测得气-液相流体包裹体的盐度。硫砷铜矿-兰辉铜矿-黄铜矿(少量):8.4%~5.3%NaCl;兰辉铜矿-辉铜矿-铜兰:7.6%~3.3%NaCl;金-黄铁矿-褐铁矿-铜兰(少量):4.1%~0.1%NaCl;

矿区内有一组高盐度流体:37.9%~28.3%NaCl。

该铜金矿成矿流体,一般密度为0.91%~0.77 $g/cm^3$ 。成矿流体沸腾区内,有一组高温高密度流体: $D_1 = 1.06 \sim 0.98 g/cm^3$ ;与另一组高温低密度流体: $D_2 = 0.75 \sim 0.5 g/cm^3$ 共存。

### 3.3 压力与矿化深度

由P-T-X(组分)图解,求得铜金形成时的成矿压力为:

蓝辉铜矿-辉铜矿-铜蓝:50~37.5 MPa;金-黄铁矿-铜蓝(少量):40~28 MPa。

据温度、压力等参数,按成矿流体运移地热增温率和地压梯度测算,该矿床铜、金矿化

深度分别为：1.90~1.43 km 和 1.52~1.06 km，属浅成成矿。

### 3.4 pH 与 Eh 值

利用温度、盐度和成矿流体的化学成分进行 pH 计算。铜矿形成时流体的酸碱度：pH=5.47~4.18；金成矿流体 pH=4.18~3.64。

所测算的成矿时氧化-还原电位，即 Eh 值为：-0.975~-0.875~-0.82，变化不大，趋于稳定环境。

## 4 成矿流体地球化学

### 4.1 成矿流体化学组分

本次，采用 MoLe 激光拉曼探针对包裹体气、液相全分析为主的方法，辅以用群体包裹体常规分析方法研究该铜、金矿床成矿流体地球化学问题。激光拉曼探针的单个包裹体成分分析，是一种新兴的微区非破坏性就地快速实测化学成分的方法。它可以不打开包裹体，防止外来物质污染和原有组分的丢失。单个包裹体进行成分测试，有助于分析不同期次、世代和不同成因的包裹体<sup>[2]</sup>，所测得定性、定量的化学组分，其精度也高（其空间分辨率  $1\mu^2$ ，检测限为  $10^{-9}\sim 10^{-12}\text{g}$ ）。

该矿床铜金成矿溶液的化学成分分析结果表明：铜金成矿溶液富含  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{SO}_2$  和  $\text{CH}_4$  等。

本次，从成矿溶液中直接做了金 ( $\text{Au}^{3+}$ ) 和铜 ( $\text{Cu}^{2+}$ ) 的定性、定量分析。虽然  $\text{Au}^{3+}$  和  $\text{Cu}^{2+}$  在成矿流体中属超微量乃至痕量存在，经过精心的样品制备后，采用电热石墨炉原子吸收法，获得  $\text{Au}^{3+}$  和  $\text{Cu}^{2+}$  分析数据（该方法灵敏度为  $2.0\times 10^{-12}\text{g}/1\%$  吸收，检测限为  $0.00005\text{g}/\text{t}$  金）。可进一步结合铜、金成矿过程的赋存形态研究，指示了铜金成矿物质来源问题。

紫金山铜金矿床独具特征的是，其成矿流体中含高硫 (S)。硫在热液运移的不同阶段与 H 和 O 作用，形成  $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{SO}_2$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  等。它们的含量极其丰富，以致在形成大量的兰辉铜矿、辉铜矿、铜兰等铜的富矿石之后，仍然有大量的黄铁矿沉淀出来。

### 4.2 成矿流体所属体系

总结该矿床铜金成矿流体所属化学体系，其早期有  $\text{H}_2\text{S}$  参加，晚期有  $\text{SO}_4^{2-}$  参加。成矿早期  $\text{KCl-NaCl-H}_2\text{O-H}_2\text{S}$  和  $\text{CO}_2\text{-NaCl-H}_2\text{O}$  以及  $\text{NaCl-H}_2\text{O-H}_2\text{S}$  共存，铜的成矿期间它们都起了重要的作用。演化至晚期，金的成矿时期， $\text{CO}_2\text{-NaCl-H}_2\text{O}$  与  $\text{NaCl-H}_2\text{O-SO}_4^{2-}$  型流体并存。在  $\text{SO}_4^{2-}\text{-CO}_3^{2-}\text{-Cl}^-$  三角图中可以看出：铜的成矿期由  $\text{Cl}^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$  演化；金的成矿期由  $\text{CO}_3^{2-} \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$  演化；同时阳离子组分，随着铜金成矿过程，成矿溶液由富  $\text{K}^+$ 、富  $\text{Na}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  方向演化。

### 4.3 成矿流体稳定同位素组成

该矿区的  $\delta\text{D}$  值较离散，范围在  $-48\text{‰} \sim -78\text{‰}$ 。氧同位素值， $\delta^{18}\text{O} = +4.8\text{‰} \sim -0.3\text{‰} \sim -0.9\text{‰}$ 。由绘制的紫金山铜金矿床热液体系水/岩交换过程中  $\delta\text{D}$ 、 $\delta^{18}\text{O}$  同位素组成演化模式图揭示：紫金山铜金矿床成矿流体的形成与演化为  $350^\circ\text{C} \rightarrow 250^\circ\text{C} \rightarrow 100^\circ\text{C}$ ， $\text{W}/\text{R} = 0.3 \sim 0.1$  之间的大气降水与火山侵入岩浆水的交换作用<sup>[3]</sup>。

## 5 紫金山火山热液成矿与成矿模式

紫金山地区, 来自深部的火山热流体, 随着北东向深断裂和火山机构的火山熔浆多次喷发, 由深部至浅部, 由火山中心向四周多次渗流, 与围岩多次的水-岩交换和渗滤作用, 形成一套中酸性热液交代岩带, 同时, 奠定了铜金矿化与成矿的基础<sup>[5]</sup>。

构成紫金山铜、金矿床地球化学成矿模式有以下诸要素:

(1) 大断裂和火山机构, 成为含矿热流体运移、渗流的通道。

(2) 含矿热液与围岩之间的面型、线型交代 ( $W/R=0.3\sim 0.1$ ) 作用, 主要表现为硅质交代和交代长石类矿物为主, 形成一系列富 K、Al, 高 Si 蚀变岩相, 其中石英明矾石蚀变岩相主要赋存铜矿; 硅质交代岩相主要有金矿化和金矿形成。

(3) 由地下深部-浅部-地表, 由火山通道向四周, 温度由  $420\sim 350\sim 250\sim 100^{\circ}\text{C}$  递降。铜矿形成温度  $300\sim 200^{\circ}\text{C}$ ; 金形成在  $220\sim 100^{\circ}\text{C}$  温度范围之内。

(4) 成矿流体盐度, 由深部-浅部, 由  $28.3\%\sim 7.6\%\sim 3.3\%$  NaCl 递降。铜矿形成时有一组  $37.9\%\sim 28.3\%$  NaCl 高盐度流体与  $8.4\%\sim 5.3\%\sim 3.3\%$  NaCl 的流体共存; 金形成于  $5.1\%\sim 3.3\%\sim 0.1\%$  NaCl 的低盐度流体中<sup>[4]</sup>。成矿流体沸腾、不混溶, 导致铜、金成矿。

(5) 铜、金矿是在压力  $80\sim 50\sim 28\text{ MPa}$ 、pH 值  $5.47\sim 3.64$ , 密度  $0.91$  至  $0.77\text{ g/cm}^3$  递降的条件下形成。铜金矿化深度为  $1.90\sim 1.43\text{ km}$ 。

(6) 成矿溶液, 早期富含  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{H}_2\text{O}$  和  $\text{H}_2\text{S}$ , 晚期向富含  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$  和  $\text{SO}_4^{2-}$  转变, 成矿流体由  $\text{KCl-NaCl-H}_2\text{O-H}_2\text{S}$ ,  $\text{NaCl-H}_2\text{O-H}_2\text{S}$  向  $\text{CO}_2\text{-NaCl-H}_2\text{O}$  和  $\text{NaCl-H}_2\text{O-SO}_4^{2-}$  演化<sup>[5]</sup>。

(7) 铜金成矿时,  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  为  $+4.8\text{‰}\sim +1.6\text{‰}\sim -0.9\text{‰}$ ,  $\delta\text{D}$  为  $-48\text{‰}\sim -78\text{‰}$ ; 成矿流体的水-岩交换作用  $W/R$  比值由  $0.3$  至  $0.1$  变化。早期成矿流体主要来源于地壳深部岩浆源, 后来不断有大量的大气降水补给。

(8) 成矿时代, 燕山早期  $157\pm 9\times 10^6\text{ a}$ , 燕山晚期  $128\pm 12\times 10^6\text{ a}$ , 发展到  $94\times 10^6\sim 82\times 10^6\sim 58\times 10^6\text{ a}$  时代铜、金逐步成矿。

紫金山铜金成矿热液属中酸性火山热液性质, 具有上金下铜的地球化学成矿特征。

综上所述, 研究紫金山铜金矿成矿流体与矿床地球化学模式, 不仅探讨中酸性火山热液的成矿作用及其形成铜金矿的物理化学条件与地球化学环境, 而且对指导在我国火山岩地区进一步找寻紫金山式铜金矿床, 有着实践意义和理论意义。

### 参 考 文 献

- 1 卢焕章, 魏家秀等. 包裹体地球化学. 北京: 地质出版社, 1990, 74~88.
- 2 魏家秀等. 流体包裹体的激光拉曼探针研究与宝玉石检测. 矿床地质, 1996, 15 (增刊): 66~70.
- 3 张理刚等. 焦家式金矿水-岩交换作用-成矿流体氢氧同位素组成研究. 矿床地质, 1994, 13 (3): 1~5.
- 4 Roedder E. Fluid Inclusions, Review in Mineralogy, 1984, 25~35.
- 5 Jiaxiu Wei, Study on the Fluid Inclusion and Genesis of Zijinshan Copper-Gold Deposit, 30th. IGC. Abstracts, 1996, (2~3): 487.