

安徽沙溪斑岩铜矿床中伴生金的赋存状态

季汝清 周文雅 张仕兰

(安徽省地质矿产局测试中心, 合肥)

关键词: 伴生金; 斑岩铜矿床; 赋存状态; 安徽沙溪

提 要: 矿体赋存于燕山早期形成的石英闪长斑岩及闪长玢岩中。矿石的主要金属矿物有, 黄铜矿、黄铁矿、斑铜矿、自然金、银金矿等。黄铁矿、黄铜矿是金的主要载体矿物。

通过矿相鉴定、单矿物化学研究、物相分析、电子探针分析、透射电镜分析等, 查明了金的赋存状态。显微金呈包体状态包含于黄铜矿之中, 粒径为5—20微米。次显微金呈球状、链状及不规则状分布于黄铁矿晶体边缘及微裂隙中。经探针分析, 金的成色为790—850, 平均成色为815。经物相分析, 金的矿物量为85%—95%, 表明金是以矿物态存在。

我国玉龙、德兴、多宝山等地的斑岩铜矿都有不同程度金的显示, 查明金的富集规律及赋存状态, 对于综合开发斑岩铜矿, 提高矿床利用价值将会开拓新的前景。

一、地质概况

沙溪铜矿位于庐江—枞阳中生代火山岩盆地边缘,区域内岩浆活动频繁,组成钙碱性系列的中深—浅—超浅成相杂岩体。该岩体侵入于志留系高家边组和坟头组砂页岩及侏罗系象山群砂岩中,可能为燕山早期产物。

矿体主要赋存于早期形成的斑岩体之中,石英闪长斑岩及闪长玢岩既是成矿母岩又是成矿围岩,砂页岩中矿化则较弱。

二、矿石的矿物成分、矿石类型及结构构造

1. 矿石的矿物成分

本区矿物成分比较简单,主要金属矿物有:黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、自然金、银金矿、辉钼矿、磁铁矿等。非金属矿物主要为长石、石英等。

现将主要金属矿物分述如下:

(1) 黄铜矿(CuFeS_2) 为本区的主要工业矿物之一,同时也是显微金的主要载体矿物。第一世代黄铜矿呈乳浊状包裹于磁铁矿及早期黄铁矿之中,但量极少;第二世代黄铜矿为他形—半自形晶粒状或粒状集合体,呈浸染状分布于斑岩体及砂页岩中;第三世代黄铜矿与石英脉、黄铁矿、斑铜矿等伴生,呈脉状产出。银金矿为乳浊状包含于本期黄铜矿之中。

(2) 黄铁矿(FeS_2) 为本区分布最广泛的金属矿物,从早期到晚期均有晶出,主要可分为三个世代产出:第一世代为自形—半自形晶粒状,常见立方体、五角十二面体的断面和外形。受压破碎明显,其中包裹有磁铁矿、磁黄铁矿等,呈浸染状分布于斑岩体及砂岩中;第二世代黄铁矿与黄铜矿、斑铜矿、石英组成脉状产出。黄铁矿往往产于脉体中心,两侧常有黄铜矿镶嵌。本世代黄铁矿晶体粗大,自形程度较高,晶胞常数 $a_0=5.41584-5.41594$;第三世代黄铁矿主要和碳酸盐组成细脉,穿插于斑岩体及砂页岩中。晶体粗大,自形程度较高,为本区矿化末期产物,晶胞常数 $a_0=5.41581$ 。

(3) 斑铜矿(Cu_5FeS_4) 为本区含铜矿物之一,多见于矿体底部,呈不规则粒状集合体,粒径一般为 $0.04-0.1\text{ mm}$,呈断续脉状产出。常与黄铜矿、脉石英伴生组成含铜石英脉穿插于斑岩体中。斑铜矿有时交代黄铜矿,成黄铜矿的镶边结构;有时和黄铜矿成固溶体,具叶片连晶结构。在斑铜矿中常见黝铜矿包体。经电子探针分析斑铜矿中含 $\text{Ag} 450-610\text{ g/T}$,其边缘有少许自然金。

2. 矿石类型及结构构造

本区以原生矿石为主,氧化带极不发育。含矿岩石依岩性可分成含铜斑岩型及含铜砂岩型两种类型。

根据矿物组合特征,将矿石划分为四个自然类型:黄铜矿矿石、含铜黄铁矿矿石、磁铁矿—黄铜矿矿石、黄铁矿—斑铜矿—黄铜矿矿石。

矿石以细脉浸染状构造为主,浸染状和细脉状构造次之。在矿体中心部位常出现较密集的网脉状构造,网脉又可分为细网脉状及粗网脉状构造。含金矿物常和细网脉状构造矿石关系密切。

矿石结构主要为自形—半自形结构,其次为它形结构,包含结构,交代残余结构,固溶

体分离结构, 压碎结构等。详见表1。

三、金及其它伴生元素在金属矿物中的含量

1. 原矿分析

大量的原矿分析结果表明, $Au > 1 \text{ g/T}$ 者, 主要集中于II号矿体中心部位及底板, 经110个样品统计, Au 的平均品位为 1.1797 g/T , 最高品位达 16.64 g/T 。各蚀变带 Au 含量差别较大, 一般都低于 0.5 g/T 。

2. 单矿物分析

经单矿物分析, 金主要赋存于黄铜矿、黄铁矿及斑铜矿中。黄铜矿中金的最高含量为 22.69 g/T , 最低为 1.25 g/T , 一般为 $10-20 \text{ g/T}$; 黄铁矿中的金含量高达 400 g/T , 最低为 0.1 g/T , 一般为 $20-40 \text{ g/T}$; 斑铜矿中金的最高含量为 24.50 g/T , 最低为 12.75 g/T , 一般为 15 g/T 。磁铁矿、脉石中含金量甚微。

银主要赋存于斑铜矿中, 其最高含量可达 530 g/T , 平均为 331.25 g/T 。黄铜矿、黄铁矿银中含量也较高。磁铁矿及脉石中银含量较低, 一般为 $5-10 \text{ g/T}$ 。

表1 矿石的矿物成分及结构构造表

Tab. 1 Mineral composition, texture and structure of ores

矿石类型	结构构造		金属矿物			脉石矿物	
	构造	结构	主要矿物	次要矿物	少量	主要矿物	次要矿物
黄铜矿矿石	浸染状、 细脉浸染状	它形—半自形	黄铜矿	黄铁矿 磁铁矿 赤铁矿 斑铜矿	蓝辉铜矿、铜蓝 黝铜矿、辉铜矿 辉钼矿	斜长石 钾长石 石英 角闪石 黑云母	磷灰石 锆石 榍石 重晶石 电气石
磁铁矿-黄 铜矿矿石	浸染状	半自形—自形、 包含	黄铜矿 磁铁矿	磁—赤铁矿 褐铁矿、针铁矿 镜铁矿 黄铁矿	孔雀石、钛铁矿 金红石、锐钛矿 方铅矿、闪锌矿	伊利—水云母 绿泥石 绿帘石 碳酸盐 硬石膏	高岭石 透石膏 纤维石膏 透辉石 阳起石 石榴子石 葡萄石 刚玉 绿松石
黄铁矿- 斑铜矿 矿石	细脉状、 细脉浸染状、 浸染状	它形—自形、 包含、交代 残余、叶片 连晶乳滴	黄铜矿 斑铜矿 银金矿 黄铁矿	黝铜矿 蓝辉铜矿 铜蓝	辉铜矿 辉钼矿 磁—赤铁矿		
含铜 黄铁矿 矿石	浸染状、 细脉浸染状	它形—自形、 压碎	黄铁矿	黄铁矿 磁—赤铁矿 白铁矿	铜蓝、蓝辉铜矿 磁铁矿、方铅矿 闪锌矿、镜铁矿 硫铋铜矿		

硒主要赋存于黄铜矿及黄铁矿中, 最高含量达 0.111% , 最低为 0.0024% , 平均为 0.006% 。

碲赋存于黄铜矿及黄铁矿中, 最高含量达 0.0092% , 平均为 0.0011% 。

钴主要赋存于黄铁矿之中, 最高含量为 0.015% , 平均含量 0.0053% 。

铼主要赋存于辉钼矿之中, 含量为0.0201%。

本矿床主要有伴生元素为Au、Ag, 其它分散元素有Se、Te、Co、Re, 它们的含量均接近综合利用品位, 可考虑综合利用。Ga、Ge、Ni、In、Pt、Pd等元素含量极低, 无利用价值。

3. 相关分析

采用数理统计方法, 对主矿体110个样品进行了Au—Cu和Au—S的简单相关计算, 其结果如下:

类 型	Au—Cu	Au—S
简单相关系数	0.8019	0.4649

经相关系数计算, 相关系数临界值 r_a 为0.195左右 ($\alpha=0.05$) 即为有效。上述计算结果大大超过临界值。因此可以确认, Au—Cu、Au—S均为正相关。

四、金的赋存状态

通过矿相鉴定及单矿物化学、物相分析及电子探针、透射电镜等多种测试手段的相互验证, 基本查明了显微金及次显微金的存在。同时, 还查明有少量金呈其它形式存在于金属矿物和脉石矿物中。

1. 显微金

经对主矿体及各蚀变带系统矿相鉴定, 发现了22颗Au—Ag系列矿物, 主要见于II号矿体。

银金矿 (AuAg) 和自然金 (Au): 为亮黄白色, 均质、反射率较高, 约80左右, 硬度低, 呈乳浊状、不规则状或浑圆状, 均包裹于黄铜矿之中(见照片1、2、5), 极少量嵌布于脉石英之中。此外, 也有呈不规则粒状或细脉状分布往斑铜矿或黄铁矿的周边及晶面上的(见照片3、4)。由于此类矿物粒度很细(大者20 μ , 小者1 μ) 在普通显微镜下银金矿和自然金不易区分, 故挑选了3颗粒度较大的做了电子探针分析, 其结果见表2。

表2 自然金、银金矿成分探针分析表*

Tab.2. Electron probe analysis of native gold and electrum

样品号	矿物名称	Au	Ag	Cu	Fe	Zn	Co	Σ
沙光—4	银金矿	80	20					半定量
沙光—10	银金矿	79.45	15.90	2.52	1.40	—	—	99.27
沙光—11	自然金	85.16	12.91	1.29	0.68	—	—	100.04

* 由地质矿产部峨嵋综合利用研究所探针组李广文同志分析。

金的成色较高, 为790—850, 平均成色为815。金的成色与矿床形成深度关系密切, 成色愈高, 矿床形成的深度愈大。本区金矿床大致形成于中等深度。

2. 次显微金

前已述及, 硫化物中金的含量较高, 特别是黄铁矿中金的最高含量达400g/T, 但经显微镜下寻找, 尚未发现显微金。经透射电镜分析, 发现了黄铁矿中存在大量的次显微金, 呈球

状、链状及不规则状，分布于黄铁矿晶体边缘、晶面及微裂隙中。黄铜矿中次显微金呈球状，沿黄铜矿的微裂隙及晶面不均匀分布(见照片6)。在石英的微裂隙及菱面体 $\{10\bar{1}1\}$ 解理中，次显微金呈球状或链状分布(见照片5)。

为了进一步查明金的赋存形式，又对含金较富的矿段进行了化学物相分析，并对黄铁矿和黄铜矿做了磨细浸取试验。此外，还进行了电子探针及透射电镜分析。现分述如下：

(1) 化学物相分析：

用乙酸溶解碳酸盐矿物，用氢氟酸溶解硅酸盐矿物，用过氧化氢—EDTA溶解硫化物，用盐酸溶解氧化物。随着金属矿物和脉石矿物的溶解，以其它形式分布在各金属矿物和脉石矿物中的金同时呈离子状态进入溶液，分别测定金的分散量，最后用王水溶解金属矿物，测定金的矿物量，其结果详见表3。

从表3可以看出：矿物量为88.33—97.14%，分散量为2.86—11.67%，说明金大部分

表3 各矿石类型中金的矿物量及分散量对比表

Tab.3. Comparison of the content of gold minerals and dispersed gold in different kinds of ores

矿石类型	金分散量(Au g/T)					金在金属矿物中的含量(g/T)	总金量(g/T)	金的分散比(%)	
	硫化物(g/T)	氧化物(g/T)	硅酸盐(g/T)	碳酸盐(g/T)	总量(g/T)			分散量(%)	矿物量(%)
斑岩型浸染状矿石	0.010	0.001	0.007	0.010	0.028	0.212	0.24	11.67	88.33
斑岩型细脉浸染状矿石	0.180	0.0013	0.001	0.001	0.183	2.613	2.796	6.55	93.45
斑岩型细脉浸染状矿石	0.017	0.001	0.001	0.001	0.020	0.680	0.700	2.86	97.14
斑岩型浸染状矿石	0.020	0.0013	0.001	0.0013	0.024	0.530	0.554	4.33	95.67

以矿物形态存在，少量以其它形式存在。

为了进一步查明以矿物态存在的金矿物和主金属矿物及脉石矿物之间的关系，笔者提纯了五种单矿物进行金的矿物量和分散量的测定。

测定结果(表4)表明：在黄铜矿、黄铁矿及脉石中，金大部分以微细矿物形态存在，金的矿物量大于84%，小部分以其它形式存在，分散量小于16%。

为了进一步查明金在各矿物中占有量及分配率，进行了系统的矿物定量工作，对各类单矿物化学分析数据，用算术平均法求出平均品位，原矿品位也同样采用算术平均品位。计算结果见表5。

(2) 磨细浸取试验：

用7%I₂+15%KI做浸取液浸取，测定金的浸出率，结果见表6。

从表6可以看出：黄铁矿随磨细程度的增加，浸出率也逐渐增加，说明包裹在黄铁矿中的金粒度很细，这与矿相鉴定结果相吻合。虽然黄铁矿含金品位很高，但在普通显微镜下却未能发现含金矿物。经透射电镜证实，赋存在黄铁矿中的金为0.2微米的次显微金。黄铜矿、原矿浸出率较高，为200目左右，大部分均被浸出，表明金以包体形式存在于黄铜矿中。这

表 4 单矿物中金的矿物量及分散量对比表

Tab.4. comparison of the content of mineral gold and dispersed gold in separate minerals

	组成矿物	金 矿 物 量		金 分 散 量		总 金 量 Au (g/T)	备 注
		Au (g/T)	分 配 比 (%)	Au (g/T)	分 配 比 (%)		
斑岩型细脉浸染状矿石	黄 铜 矿	20.25	84.38	3.75	15.62	24.00	
	斑 铜 矿	3.58	29.51	8.55	70.49	12.13	
	黄 铁 矿	17.77	90.34	1.90	9.66	19.67	
	磁 铁 矿	1.40	100.00	—	—	1.40	金 含 量 低 分 散 检 出
	脉 石	0.11	100.00	—	—	0.11	

表 5 金配分平衡表

Tab.5. Balance chart of gold partition

组 成 矿 物	矿 物 分 配 比 (%)	金 属 矿 物		
		品 位 (Au, g/T)	占 有 量 (Au, g/T)	分 配 率 (%)
黄 铜 矿	3.82	13.78	0.5264	54.58
黄 铁 矿	0.62	34.63	0.2147	22.26
斑 铜 矿	0.77	16.39	0.1262	13.08
磁 铁 矿	10.05	0.0093	0.0093	0.96
脉 石	84.74	0.104	0.0881	9.13
总 量	100.00		0.9647	100.01
原 矿 品 位 (g/T)		0.9083		
平 衡 系 数 (%)		106.21		

也与矿相鉴定相吻合，即与在显微镜下发现黄铜矿中包含有银金矿、自然金相吻合。

(3) 电子探针及透射电镜分析：

经电子探针及透射电镜分析，本区主金属硫化物及石英脉中均含有一定量的次显微金及显微金，而黄铁矿中含量尤高。但不同世代的主金属矿物中的次显微金的含量差别较大。其中第二世代的硫化物中的次显微金含量较高，即次显微金主要赋存在含黄铁矿、斑铜矿、黄铜矿的石英脉中。

综上所述，经化学物相分析、透射电镜、电子探针分析、磨细浸取试验等多种测试手段的分析验证，金是以矿物态存在于硫化物之中的。黄铁矿中以次显微金为主，有极少量显微金；黄铜矿中以显微金为主，次显微金少量；此外，斑铜矿、石英等矿物都含一定量的次显微金。

我国玉龙、德兴、多宝山等地的斑岩铜矿，都有不同程度的金显示。查明金的富集规律、赋存状态及工艺矿物学特征，对于综合开发斑岩铜矿，提高矿床利用价值将会开拓新的前景。

表6 矿物磨细浸取率表

Tab.6. Percentage of gold abstracted from ground minerals

矿物	矿物粒径 (mm)	金总量 (g/T)	浸取量 (g/T)	浸取率 (%)
黄 铁 矿	0.041	7.60	5.50	72.37
	0.050	2.40	1.00	41.67
	0.063	2.50	1.00	40.00
	0.076	2.10	0.40	19.50
黄 铜 矿	0.041	44.25	40.45	91.41
	0.050	37.80	30.80	81.48
	0.063	44.40	39.95	89.98
	0.076	70.50	65.20	92.48
原 矿	0.041	9.15	8.65	94.54
	0.050	9.70	8.95	92.27
	0.063	10.80	10.00	92.59
	0.076	13.00	11.70	90.00

本文在有关单位协助下完成。透射电镜分析由中南矿冶学院张振儒教授等人协助分析；电子探针由峨眉矿产综合利用研究所李广文工程师分析；晶胞常数由本室罗健民工程师测定；化学物相分析、单矿物化学分析均由本中心二分室承担，在此一并致谢。

参 考 文 献

- (1) 中国科学院数学研究所, 1979, 常用数理统计。科学出版社。
 (2) 姚敬劬, 1982, 地质与勘探, 第8期。

The Mode of Occurrence of Associated Gold in the Shaxi Porphyry Copper Deposit, Anhui

Ji Ruqing, Zhou Wenya, Zhang Shilan

(Experimental Center, Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui
Province, Hefei)

Key words: associated gold; porphyry copper deposit; mode
of occurrence; Anhui

Abstract

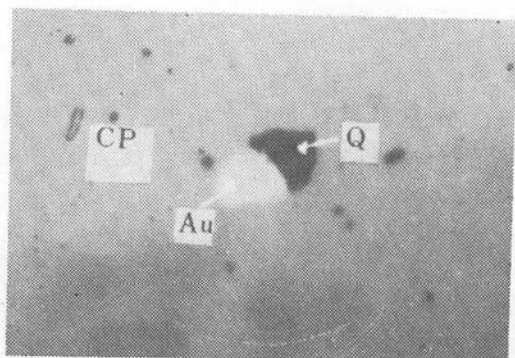
The orebodies occur in quartz diorite-porphyry and diorite-porphyrity, which were formed in the early Yanshanian orogenic phase and are both parent rocks and host rocks of the orebodies. The main metallic minerals are chalcopyrite,

pyrite, bornite, native gold and electrum. The main gold-containing minerals are pyrite and chalcopyrite.

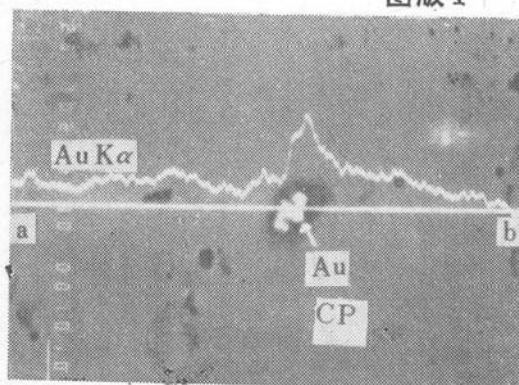
The mode of occurrence of gold in minerals has been studied by means of ore microscopy, mineral chemistry, phase analysis and electron microprobe and transmission electron microscope. It is found that micro-gold occurs in chalcopyrite as inclusions with diameters of 5—20 μ , while submicrogold appears as spherules, chains, or in irregular shapes, occurring on the crystal faces or in the microcracks of pyrite. According to electron probe analysis, the fineness of gold is 790—850 with an average value of 815. Phase analysis showed that the content of gold reached 85—95 percent, which indicates that gold occurs as minerals.

In China, there is more or less gold in the porphyry copper ores in such districts as Yulong, Dexing, Duobaoshan etc. To find out the enrichment zone and horizon of gold and its mode of occurrence will have important significance to development comprehensively the porphyry copper deposits so as to raise their commercial value.

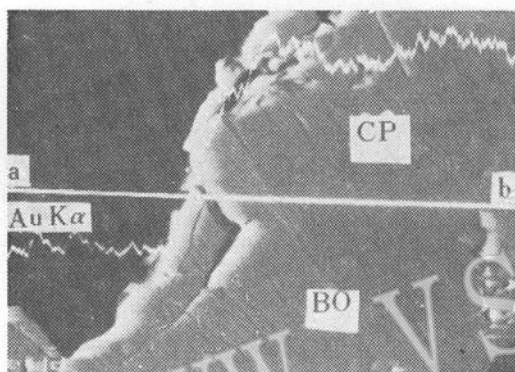
www.yskw.ac.cn



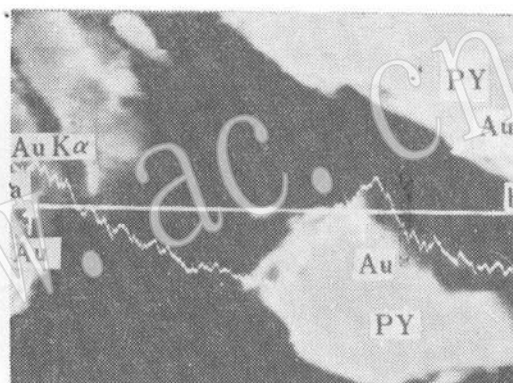
照片1 黄铜矿(CP)中包裹自然金(Au)颗粒大小为 $20\mu\pm$ ，与石英(Q)呈连生体。
× 528



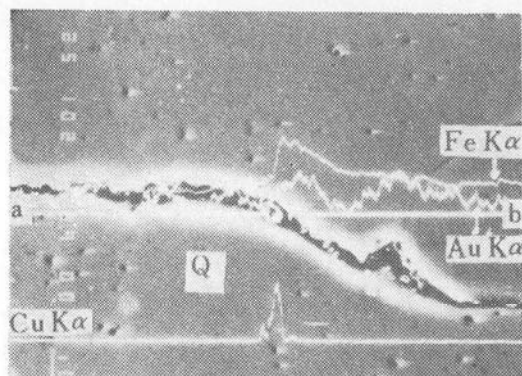
照片2 黄铜矿(CP)中的显微金(Au)呈不规则粒状或粒状集合体。AuKα特征X射线沿a—b线扫描浓度变化曲线。
电子探针B. E. I × 1000



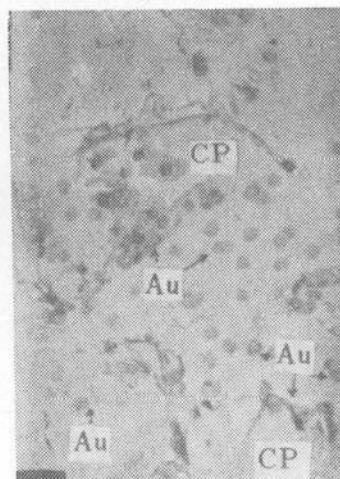
照片3 自然金在斑铜矿(BO)及黄铜矿(CP)的周边及晶面上呈不规则微粒状分布。AuKα特征X射线沿a—b线扫描浓度变化曲线。
电子探针B. E. I × 660



照片4 显微金(Au)呈不规则状沿黄铁矿(PY)的周边分布。AuKα特征X射线沿a—b线扫描浓度变化曲线。
电子探针B. E. I × 2000



照片5 石英(Q)的微裂隙中充填细粒状或细脉状黄铜矿及黄铁矿，显微金及次显微金呈不规则状分布于黄铜矿、黄铁矿的边缘及石英的微裂隙中。
电子探针B. E. I × 1000



照片6 次显微金(Au)呈球状沿黄铜矿的微裂隙及晶面呈不均匀分布。
透射电镜 × 10000