

皖西南安庆月山铜(钼)矿床中金的赋存状态研究*

杨晓勇¹ 杨学明¹ 孙立广¹ 王奎仁¹
王兆荣¹ 林秀清² 王贤觉² 张玉良³

(1 中国科学技术大学地球和空间科学系, 合肥 2 中国科学院广州地球化学研究所, 广州
3 安徽省安庆市月山铜矿, 安庆)

提 要: 应用光学显微镜、化学分析、电子探针和质子探针 (PIXE) 等多种分析研究方法, 系统地研究了安庆月山铜(钼)矿区铜牛井矿床不同类型的铜矿石中金的赋存状态。研究结果表明, 矿石中金呈显微自然金存在, 它们分别是含银自然金、银金矿和纯金存在于石英脉型铜矿石、含铜方解石脉以及闪长岩型铜矿石中; 主要载金矿物是黄铜矿、黄铁矿等矿物。研究结果为该矿区矿石中伴生金的综合利用提供了科学依据, 同时也为同类矿床中金的赋存状态研究提供了新的方法。

关键词: 金银矿系列 质子探针分析 金的赋存状态 热液型铜(钼)矿床 安庆月山

自然界中的金以何种状态存在, 尤其是微细粒金的赋存状态一直是国内外学者研究的焦点问题, 而且颇具争议。其关系到金的选冶工艺的选择, 并直接涉及到金的利用与回收的关键问题。在各类铜矿床中金往往是有用的伴生元素有时还占有相当重要的地位, 在国内外铜矿床中均占有相当大的比例。但迄今为止对金的赋存状态的研究相当薄弱。矿石中的金含量甚微, 一般是 $0.1 \times 10^{-6} \sim n \times 10^{-6}$ 或更少, 加上金矿颗粒极细尤其是对次显微赋存状态研究相当困难, 需要借助新方法新技术。谭延松研究湖南石峡金矿和陕西二台子金矿金的赋存状态时采用电子探针, X射线能谱和电子衍射求得次显微金的成分和结构的衍射图象, 并推断金的粒径为几个至几十微米; 近年来, 借助更高精度的微束分析新技术, 人们已经较直观而有效地解决次显微金的赋存特征。

1 区域地质与矿床地质特征

安庆铜(钼)成矿密集区以安庆月山铜钼矿区为典型代表。该矿区位于安庆市以北 24 km, 是安徽地矿局 326 地质队 60 年代发现的。矿床位于下扬子台褶带中部的北东向褶断隆起区, 周围均为中、新生代断陷盆地, 燕山期岩浆岩在隆起区十分发育。南部由深大断裂形成的长江两岸陷落冲积平原, 北部为由第三系和第四系组成凹陷。矿床赋存在燕山早期的月山闪长岩体北枝前缘部位, 该岩体呈舌状侵入到上三叠统铜头尖组紫色粉砂岩、页岩中。矿

* 国家攀登计划专题“长江中下游铜(金)远景区(30-12B)”部分研究成果
杨晓勇, 男, 33岁, 博士, 地球化学专业。邮政编码: 200026

区实际上主要由三个相对独立而又有密切成因联系的矿床组成,即铜牛井、铁铺岭和刘家凹矿床。它们在空间上彼此相邻,都分布在月山岩体的北枝与东枝相交汇的部位,在成因上又密切相关,都与月山岩体的侵位有成因上的联系。本文着重研究铜牛井矿床中金的赋存状态,该矿床受“X”形剪切裂隙发育的构造破碎带控制,由密集的羽毛状裂隙组成,整个裂隙带走向为NE 60°~80°,倾向NNW,倾角70°~80°,矿体为宽脉(主脉30 cm厚)和细脉(2 cm厚)相间而构成羽状复合脉型。以中温热液裂隙充填石英脉型铜钼矿为主,其次是闪长岩型铜矿。矿体呈脉状充填在闪长岩裂隙中。由于矿体严格受构造控制,故矿体产状和形态较为稳定、规则,其主矿体有两个,即1、2号矿体,它们均赋存在闪长岩的构造裂隙中,呈脉状、薄板状,连续性较好,在空间上基本相连,在其之间有为次一级构造所控制的小矿体。

1号矿体走向60°,倾向NNW,倾角70°~80°,矿体长230 m,宽8~9 m,延深220 m,西部逐渐变薄而尖灭,东部出现分枝复合。2号矿体的产状与1号相同但局部倾向南,矿体长590 m,宽13 m,延深270 m。西部较复杂,东部被大理岩阻隔。在1、2号矿体之间为一些小矿体,走向一般为330°,倾向SW,倾角50°,矿体长60~80 m,宽0.5~1 m,延深不超过100 m。

矿石成分简单,以黄铜矿-辉钼矿-斑铜矿-石英(白云石)组合为主,伴有磁铁矿、赤铁矿、辉铜矿以及脉石矿物方解石等。矿石中平均含Cu>1%、Mo 0.037%、伴有Au 0.22 g/t、Ag 4 g/t,为一小而富的铜矿。围岩蚀变主要为钾长石化,与成矿关系密切,其次为黑云母化、绿泥石化、碳酸盐化、阳起石化。成矿温度380~437℃。

2 含金矿石类型及特征

矿区内百余件样品化学分析结果表明,金矿物主要赋存在各种类型的铜矿化岩石和铜矿石中,按其产出特征可分为三大类:石英脉型、闪长岩型和铜矿化岩石(脉)型,其中闪长岩型又可分为石英细脉型及黄铜矿浸染型两个亚类。

2.1 石英脉型铜矿石

乳白色块状石英呈脉状产出,围岩为闪长岩,石英脉大小不等,脉宽可达1 m以上,其中铜矿物以黄铜矿为主,多呈半自形不规则粒状,局部富集成小团块或不规则脉状,少量斑铜矿呈他形粒状集合体及细脉状充填于脉石矿物间隙中。辉钼矿分布不均匀,常局部集中。其它金属矿物还有黄铁矿、磁铁矿、赤铁矿、方铅矿、闪锌矿、铜蓝、辉铜矿、脆硫铜铋矿、硫砷铜矿、辉碲铋矿等。脉石矿物以石英为主,其次为长石等。金矿物有纯金、自然金、含银自然金、银金矿等。依据44个样品统计,金平均含量为0.41 g/t。

2.2 闪长岩型铜矿石

(1) 石英细脉型:矿石特征基本同于石英脉型铜矿石,所不同的是闪长岩中充填的石英脉,石英-方解石脉,均很细小,脉宽数厘米,甚至小于0.5 cm,脉比较密集。围岩局部有明显的钾化、硅化、高岭石化等,金属矿物及产出特征也大致同于石英脉型铜矿石,只是主要金属矿物黄铜矿的粒度稍细,除呈细脉状、团块状外,呈细粒浸染状星散分布较多,斑铜矿也多呈浸染状及细脉状分布。脉石除石英外,尚有长石、角闪石、方解石、黑云母、绿泥

石等。68件样品分析表明金平均含量为0.2 g/t。

(2) 黄铜矿浸染型矿石：此类矿石产在主矿体的上、下盘，与主矿体界线比较清楚。含矿闪长岩为中—细粒半自形粒状结构，基本上无蚀变，黄铜矿呈不规则细粒状浸染状分布于脉石矿物（自形斜长石、角闪石）隙间。黄铜矿占金属矿物总含量99%以上，其它的则为微量的辉钼矿、脆硫铜铋矿、辉碲铋矿、自然银等。金则为自然金、含银自然金、银金矿等，分布不均匀，平均含量0.31 g/t，局部可达25.8 g/t。

(3) 铜矿化岩石（脉）型：此类包括含铜钾化闪长岩、含铜方解石脉，含铜夕卡岩、含铜接触带。其特点均具铜矿化，虽含金较低，但尚可综合利用，对其中含铜方解石脉尤其值得注意。

3 金的赋存状态研究

3.1 电子探针分析和光学显微镜研究金的赋存状态

本区发现了纯金、自然金、含银自然金、银金矿等金银系列矿物，主要是含银自然金，而且其中的金含量多集中在85%~90%范围内，其它类型的比较少。

(1) 纯金：见于60 m中段闪长岩型（石英细脉型）铜矿石中，金黄色，不规则，粒状，表面不平滑，粒度细小，显微镜下测得粒度为0.21~0.12 mm。量极少，电子探针分析：Au 99.263%，Ag 0.00%，Cu 0.748%。

(2) 自然金：金黄色，光亮，不规则片状和厚片状，表面比较光滑，粒度较纯金略粗，为0.2~0.4 mm。量极微，电子探针分析：Au 96.730%，Ag 2.057%，Cu 1.238%。

(3) 含银自然金：为矿床含量最多、分布最广的金矿物。黄色，片状，少数为圆饼状、粒状、弯曲条片状、细长条状、镰刀状，有些表面不平滑呈凹凸状，边部常呈港湾状，粒度大者可达0.78 mm，小者小于0.06 mm，一般在0.15~0.50 mm，电子探针分析：Au 83.119%~92.328%，杂质有银和铜。

(4) 银金矿：呈浅黄色，浑圆粒状，不规则粒状，边部常呈弯曲状，粒度0.15~0.50 mm，量极少。

(5) 自然银：银白色，颗粒极细少，呈片状，粒度小于0.05 mm，包在黄铜矿之中。电子探针分析为Ag 98.153%，S 1.904%。

考虑到金矿物颗粒一般比较细小，又多与共生矿物黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿等互相嵌合，且常被黄铜矿等所包裹，从人工重砂中很难挑纯这些伴生矿物。因此，单矿物分析难以得出正确答案。故采用电子探针扫描，结果在其检测限内，黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿、辉钼矿、脆硫铜铋矿、辉碲铋矿、石英、长石中均未发现有金的存在，故此我们另选择更加灵敏的质子探针分析技术进行有效的探测。

3.2 质子探针分析方法研究金的赋存状态

质子探针（SPM）是建立在PIXE（质子激发X射线荧光分析）基础上的一种新的微区、微量、无损分析技术。它利用粒子加速器将质子能量加速到2~3 MeV，经过电磁聚焦得到微米级的高能质子束。用这种高能质子束激发微区内的待分析物质，使样品中一部分原子的内壳层电子被击出产生空穴，于是外层电子向空穴跃迁，同时发出该原子的特征X射

线。通过测定 X 射线能量和强度, 结合各种原子参数 (如电离截面, 荧光产额等), 可以确定样品中元素的种类及百分含量, 同时通过移动样品或用微束对样品表面进行光栅式扫描, 还可得到选区的次级电子图象和各元素的空间分布图。由于质子束在样品的散射较小以入射束的减速所造成的 X 射线背景较低, 质子探针具有分辨率高 ($0.5 \sim 1 \mu\text{m}$) 和检测限低 (1×10^{-6}) 的优点, 可优于电子探针 100 倍, 是目前测定微量元素含量及确定元素在空间分布的最佳方法之一, 在地质学应用方面 Sie 等 (1991) 以及王奎仁等 (1992) 都做了工作。

本次工作共挑选铜牛井矿床 - 200 m 中段黄铜矿石英脉矿石中的黄铜矿和黄铁矿两种重要的载金矿物进行质子探针分析用以确定铜矿中金的赋存状态。分析测试在复旦大学国家同步辐射重点实验室微米级 PIXE 系统完成, 该系统基于 $2 \times 3 \text{ MeV}$ 的串列加速器, 使用双四极磁透镜聚焦, 其最小束点为 $2 \mu\text{m}$, 最大束点为 $30 \text{ Pa}/\mu\text{m}^2$, 样品移动范围为 $2.5 \times 2.5 \mu\text{m}^2$, 最小移动距离为 $1.6 \mu\text{m}$, 质子束的扫描范围从 $2 \mu\text{m} \times 2 \mu\text{m}$ 可连续调到 $500 \mu\text{m} \times 500 \mu\text{m}$, 数据的获取均由计算机完成, 所得的结果以特征 X 射线能谱或元素分布图的形式给出, 测定的结果以元素分布图的形式给出 (图 1、2 略), 下面分别讨论。

由质子探针分析得到的黄铁矿中伴生金与其寄主矿物中主要元素 S、Fe 的配置关系图 (标尺单位为 $500 \mu\text{m}$) 中可以看出金与寄主矿物黄铁矿的主量元素 S 和 Fe 的分布形式一致, 即黄铁矿中金的含量与 S、Fe 呈对应的正相关关系, 表明黄铁矿中的金不是以类质同象形式存在于矿物晶格中, 因为若是 Au 替代其 Fe 或 S, 或同时替代这二元素之后, 占据了一定的晶格位置, 那么 Au 的分配就不可能与 Fe、S 二元素呈正相关关系了。所以我们推断黄铁矿中的金是以显微包裹体金粒存在, 根据质子探针分布图的视域直径是 $500 \mu\text{m}$ 这一大小, 估计金的颗粒为微米级, 且呈浸染状分布在黄铁矿中; 由质子探针分析得到的黄铜矿中伴生金与其寄主矿物中主要元素 S、Fe、Cu 的配置关系图 (标尺单位为 $500 \mu\text{m}$) 可以看出金与寄主矿物黄铜矿中伴生金在其质子探针分配图上的分布形式与主量元素 S、Cu、Fe 的分布形式一致, 即黄铜矿中金的含量与 S、Cu、Fe 呈对应的正相关关系, 表明黄铜矿中的金不是以类质同象形式存在于矿物晶格中, 因为若是 Au 替代其 Fe 或 Cu 或者 S, 或同时替代这些元素之后, 必然占据了一定的晶格位置, 同样 Au 的分配就不可能再与 Cu、Fe、S 元素呈正相关关系了。所以我们推断黄铜矿中的金是以显微包裹体金粒存在, 同样根据质子探针分布图的视域直径是 $500 \mu\text{m}$ 这一大小, 估计金的颗粒为微米级, 且呈浸染状分布于黄铜矿中。

4 结 论

电子探针配合质子探针分析结果从微观—超微观尺度进一步证实, 安庆月山铜 (铅) 矿床中金的赋存状态都为显微—超显微级的单质金赋存于主要载金矿物中, 而非以晶格金的形式存在, 与中国典型的微细粒金矿床——卡林型金矿床金的赋存状态一致, 与邻区皖中沙溪斑岩型铜 (金) 矿床中金的赋存状态亦可对比。

研究工作中参阅和引用了安徽省地矿局 326 地质队和安庆月山铜矿有关工程地质资料并得到有关工程技术人员的大力协助, 在此特致谢忱。

(参考文献略)