

某些矿物中次显微金的电子显微镜和电子探针研究

温世达 张振儒 易 闻

(中南矿冶学院)



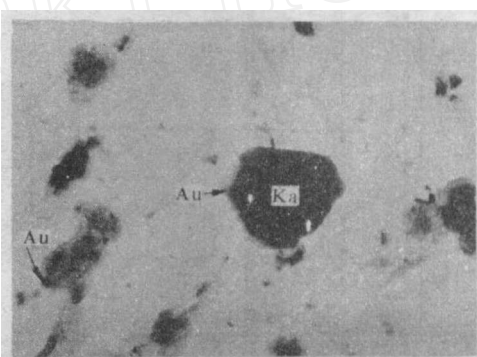
岩矿工作

近年来,笔者用DXA 4—10型电子显微镜和日本S—733型电子探针显微分析仪,对10多个矿区和不同类型矿床中金的赋存状态进行了研究,发现金常以

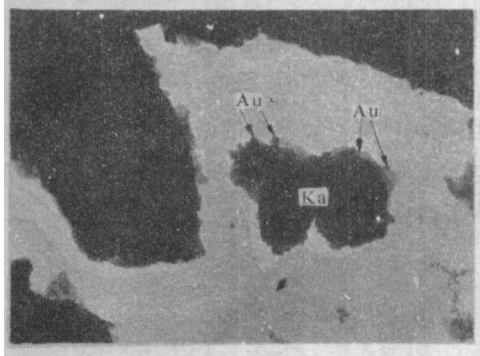
粒径小于0.2微米的球粒状自然金存在,很少以类质同象形式存在。由于这种自然金的粒径小于普通光学显微镜的分辨率,在普通光学显微镜下不能被分辨出来,因此某些矿物中的次显微金常被人们忽视或遗漏,或者对其赋存状态做出错误的判断,影响金的工业评价、选矿方法和流程的制订,以及金的提取回收,故研究含金矿物中金的赋存状态具有实际意义。本文着重研究了高岭石、褐铁矿、黄铁矿及石英等矿物中次显微金的赋存状态,并用结晶学的观点对其形成机理进行了分析。

高岭石中的次显微金

我们对七宝山伴生金矿床及大坊风化壳金矿床高岭石中的次显微金进行了研究。照片1、照片2分别为七宝山和大坊金矿床高岭石中次显微金的电子显微照片。由照片可以看出:次显微金呈小圆球状或小球粒集合体被吸附在高岭石晶体的边缘,尤其在港湾及破碎晶体的边缘更为富集。这可由高岭石的晶体结构予以解释。高岭石属层状构造的铝硅酸盐矿物,晶体由硅氧四面体片和铝氧、氢氧八面体片组成单层,再由各单层相互平行叠置构成(图1)。层与层之间由氧键联系,层间属电性中和面,故不能吸附带负电荷的次显微金,而高岭石晶体的边缘和港湾处常带正电荷,因此能吸附带负电荷的次显微金(图2)。



照片1 高岭石(Ka)边缘吸附小圆球状次显微金(Au) ×20000



照片2 高岭石(Ka)晶体边缘吸附小圆球状次显微金(Au) ×10000

褐铁矿中的次显微金

褐铁矿的理论成分为 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$,是细而分散多矿物集合体的总称,其主要成分有针铁矿、纤铁矿、含水赤铁矿、蛋白质、氧化锰和粘土矿物等。照片3是石峡汞金矿床3号样褐铁矿中次显微金的电子显微照片,可清楚地看到次显微金被吸附在褐铁矿晶体表面的情况。褐铁矿属表生矿物,常在氧化带呈胶体溶液存在,其胶核

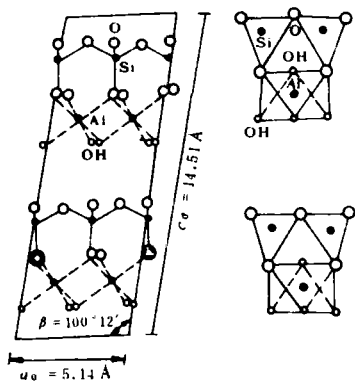


图1 高岭石的晶体构造
(据L. Pauling)

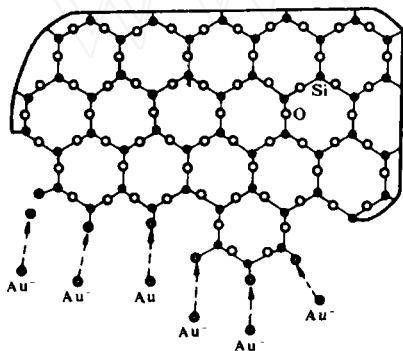


图2 高岭石破碎晶体边缘吸附小圆球状次显微金的示意图

常吸附 Fe^{3+} 离子使表面带正电荷。因此，褐铁矿晶体的表面常吸附带负电荷的小圆球状或球链状的次显微金(图3)。

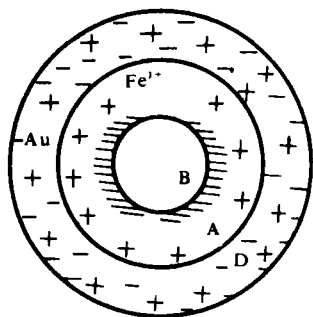
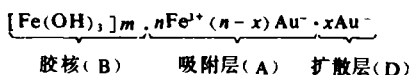
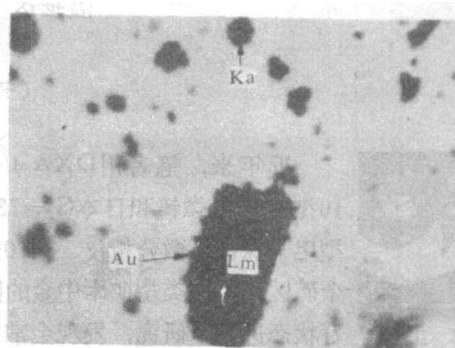


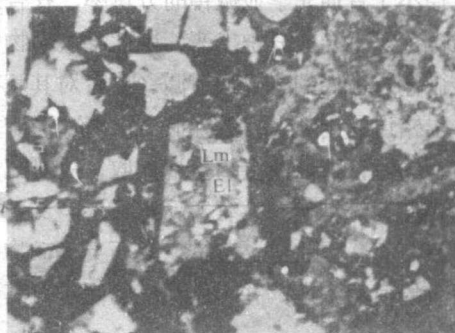
图3 褐铁矿的胶团结构及表面吸附金的示意图



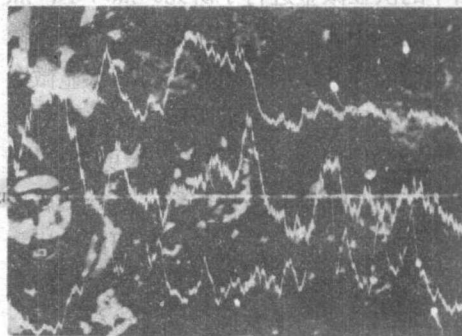
此外，还发现七宝山金矿床中褐铁矿的表面吸附有粒度较大的银金矿，并由电子探针显微分析仪的背散射电子成分像(照片4)及沿 ab 线的特征X射线(照片5) AuLa 、 AgLa 和 FeKa 的强度变化曲线得到证实 ($\text{Ag} = 30.6\%$ ， $\text{Au} = 69.4\%$)。



照片3 褐铁矿(Lm)表面吸附小圆球状或球链状的次显微金(Au) $\times 1400$



照片4 褐铁矿(Lm)表面吸附银金矿(El)的背散射成分像 $\times 1500$

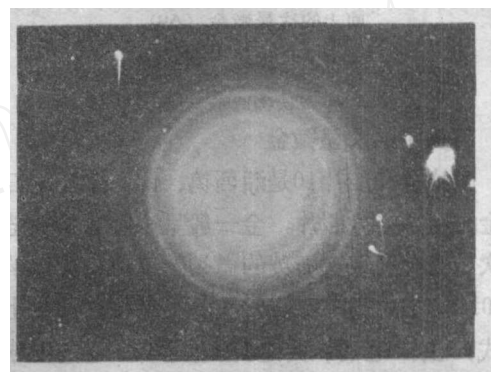


照片5 褐铁矿表面吸附银金矿特征X射线沿 ab 线扫描的强度变化曲线

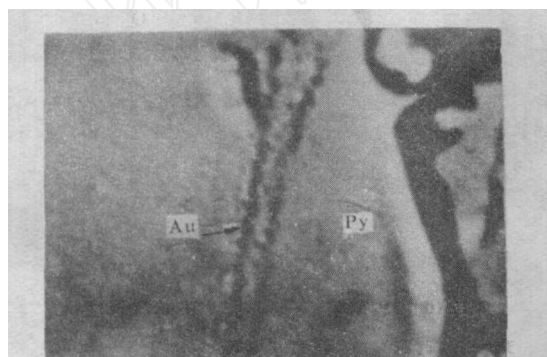
黄铁矿中的次显微金

由于有些金矿床中金粒很细 (0.1 微米左右), 用普通光学显微镜, 甚至用电子探针显微分析仪均不能发现, 或只能找到很少几粒自然金。因此, 金在黄铁矿中被认为呈类质同象或主要以类质同象存在。但从晶体化学观点来看, 金与黄铁矿的结晶构造不同, 黄铁矿为简单立方格子, 自然金为立方面心格子。金的负电性 (2.3) 远比铁的负电性 (1.65) 大, 二者互相替代形成类质同象的量很少, 这已由电子顺磁共振研究结果所证实。黄铁矿中的金大部分呈小于 0.2 微米的次显微金存在。照片 6 和 7 是湘西钨、锑、金矿床黄铁矿中金的电子显微照片。照片 8 与照片 7 为同一视域的电子衍射照片, 各衍射环的数据列

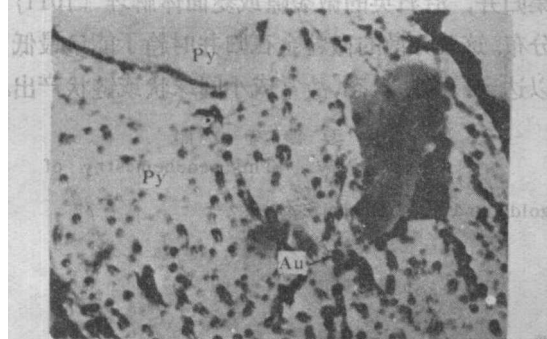
于下表。由表可见, 所测数据与 A. S. T. M 卡片金的衍射数据基本相符。证明黄铁矿中的金主要以次显微金的形式存在。次显微金的分布状态主要有两种, 一种是呈小圆球或链状充填在黄铁矿的微裂隙中 (照片 6), 另一种呈小圆球状或链状成包裹体夹层沉淀于黄铁矿晶体的晶面上 (照片 7)。



照片 8 黄铁矿中金 (Au) 的电子衍射照片
($\lambda L = 20.28 \text{ mm} \cdot \text{\AA}$)



照片 6 次显微金 (Au) 呈小圆球状及链状充填在黄铁矿 (Py) 的微裂隙中 $\times 2000$

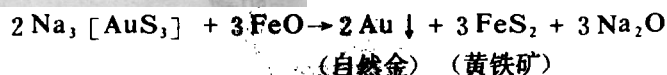


照片 7 黄铁矿 (Py) 的晶面上沉淀小圆球状及链状的次显微金 (Au), 呈不均匀分布 $\times 2000$

黄铁矿中金的电子衍射数据

编 号	测 定 数 据		A. S. T. M 卡片数据		
	$d(\text{\AA})$	I/I_0	$d(\text{\AA})$	I/I_0	hkl
1	2.355	100	2.355	100	111
2	2.038	70	2.039	52	200
3	1.433	50	1.442	32	222
4	1.340	30	1.330	36	311
5	1.269	30	1.177	12	222
6	1.117	20	1.019	6	400

笔者认为, 上述金的赋存状态的形成机理与金的搬运和地球化学性质有关, 金呈碱性络合物 $\text{Na}_3[\text{AuS}_3]$ 或 $\text{Na}[\text{AuS}]$ 形式搬运, 此溶液与围岩中适量的铁质作用时, 由于铁离子的亲硫性远比金强, 故使其还原形成自然金而沉淀, 其反应式为:



由此可知, 自然金与黄铁矿有密切的共生关系, 而且金与黄铁矿在形成时间上近于同时或金稍晚。金既可以在黄铁矿晶体生长的同时在黄铁

矿的晶面上沉淀, 形成包裹体夹层 (带状结构) 的次显微金 (图 4), 又可以充填在稍早形成的黄铁矿的微裂隙中呈细脉状分布 (照片 6)。

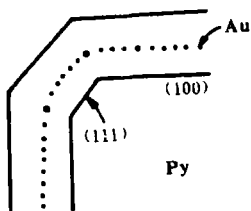
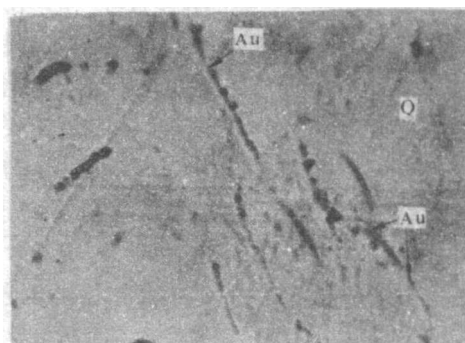


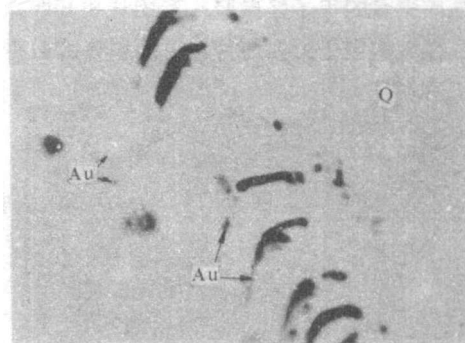
图4 黄铁矿(Py)晶
面上的次显微金(Au)
呈包裹体夹层,具明显
的带状构造示意图

石英中的次显微金

照片9和照片10是湘西钨、锑、金矿床石英中金的电子显微照片。金一般呈小圆球状及链状的次显微金充填在石英的微裂隙中或菱面体解理 $\{10\bar{1}1\}$ 中。但自然金常与石英共生,而呈上述形式产出,笔者认为这与Al, Si, Au的地球化学性质有密切关系。因Al在硅酸盐矿物中(如白云母、长石)能起双重作用,既可以是配位数4(起络阴离子的作用,如石英、长石中的铝氧四面体),又可以是配位数6(起阳离子的作用)。这是由于 Al^{3+} 的离子半径为 $0.75\text{\AA}$, O^{2-} 的离子半径为 $1.36\text{\AA}$,其离子半径之比为 0.419 ,介于配位数4和6之间,故在石英中往往有 Al^{3+} 替代 Si^{4+} 而形成铝氧四面体。这种现象已为纯石英的化学分析所证实,在石英中常含有 0.1 ppm 的Al。另一方面,因为Al是正3价,而Si为正4价,因此Au可以作补偿电价以扩散的方式进入石英的晶格构造槽中,故早期的金呈分散状态分布于石英中,二者共生关系密切,这种现象已为热发光光谱和原子吸收光谱分析所证实(曹洪宇等,1974



照片9 次显微金(Au)呈小圆球状及链状
充填在石英(Q)的微裂隙中 $\times 8000$



照片10 次显微金(Au)呈小圆球状及链状
充填在石英(Q)的菱面体解理 $\{10\bar{1}1\}$ 中 $\times 8000$

年)。由于这种分散的金活度较大,在后期变质作用过程中易于释放出来,使这些分散的微粒金凝集归并,沿石英的微裂隙或菱面体解理 $\{10\bar{1}1\}$ 分布。这些分散的微粒金在归并时趋于能量最低,以达到最稳定状态,故常成小圆球状或链状产出。

主要参考文献

- [1] Boyle, R. W.: The geochemistry of gold and its deposits, 1979

