

# 珀玛金矿床成矿作用机理<sup>①</sup>

程寄皋

(武汉钢铁学院地测室, 武汉 430081)

陈彰瑞

(武汉化工学院矿山系, 武汉 430077)

**摘要** 重点叙述了非洲贝宁共和国珀玛金矿床的成矿期、成矿阶段和矿物生成顺序。并在此基础上分析了金矿物的生成条件和探讨了  $S_2^-$ ,  $S^{2-}$  离子搬运和沉淀金的作用机制。

**关键词** 贝宁 珀玛金矿床 金矿物

珀玛(Perma)金矿床位于非洲贝宁人民共和国西北部, 属产于变质岩中少硫化物石英脉型金矿床。关于该金矿床成因的热液和金的可能来源在该金矿带地质研究报告<sup>②</sup>中已有叙述。但对于金矿化与硫化物的关系及金矿物形成机制未作研究。作者在承担该矿床矿石工艺矿物学研究任务中, 对矿石进行了多方面的观察研究, 注意到金矿化与硫化物的密切关系, 并在此前提下探讨了金矿物的形成机制。

## 1 矿床地质背景

区域内地层从东到西依次为达荷美系(Dahomeyen)、阿塔科拉系(Atacorien)、康德一布孔贝系(Kande-Boukoumbe)和布温系(Buém)。其中达荷美系属太古界, 其余三个系均属上元古界。

达荷美系, 其岩性为黑云母片麻岩和二云母片麻岩。阿塔科拉系呈角度不整合覆盖于下伏太古界岩石之上, 为一套厚度较大的石英岩, 其间有云母片岩夹层。其余二系分布较少。

太古界达荷美系地层受到强烈变形的褶皱构造影响。褶皱构造一般向西轻度倾斜。阿塔科拉系构成一系列同斜褶皱, 也向西倾斜, 但倾角更大。

矿床围岩岩性单一, 主要为成分较纯的浅色石英岩、含云母的石英岩和含绢云母的石英岩, 偶见少量绿色片岩及云母片岩, 属阿塔科拉系地层。其岩相分别属于绿色片岩相和角闪岩相。

## 2 含金石英脉特征

含金石英脉为块状构造, 局部见有云母片岩、石英片岩角砾。硫化物在矿石中呈细脉状和团块状。

主要组成矿物是乳白色石英, 其他矿物含量较少( $<5\%$ ), 有硫化物: 黄铁矿、黄铜矿、黝铜矿、方铅矿、闪锌矿、铜兰等; 有氧化物: 褐铁矿、磁铁矿、赤铁矿、金红石等; 有层状硅酸盐: 绢云母、高岭石等。金矿物经 Link860—500 II 型能谱分析仪确定为自然金和含银自然金, 偶见自然银。

## 3 成矿作用期、阶段和矿物生成顺序

经观察研究矿物间关系如下:

- (1) 立方体黄铁矿包裹自形磁铁矿;
- (2) 立方体黄铁矿的裂隙中充填有黝铜矿、黄铜矿、磁铁矿和自然金(包括含银自然

<sup>①</sup> 收稿日期: 1994-01-30; <sup>②</sup> KIROV M 等, 1977~1981 年阿塔科拉地区金矿带地质研究报告

金，以下同)；

(3) 黝铜矿与黄铁矿，黝铜矿和黄铁矿与自然金，方铅矿与磁铁矿共生；

(4) 磁铁矿、方铅矿、黝铜矿包裹细小黄铁矿；

(5) 方铅矿与闪锌矿共生，或方铅矿被闪锌矿交代；

(6) 自然金充填于石英孔、裂隙中，或产于有褐铁矿的裂隙中；

(7) 铜兰或产于其他矿物颗粒之间，或呈细小网脉状产出，或包于闪锌矿、方铅矿之外部；

(8) 赤铁矿常呈花边状包于磁铁矿外围；

(9) 金红石主要呈细脉产出，与其他矿物不共生。

根据上述事实可判定成矿作用期、阶段和矿物生成顺序(表1)。

### 4 金矿物形成条件

成矿过程可分为四个阶段，首先是乳白色石英脉形成阶段，接着是黄铁矿形成阶段，相继是硫化物阶段，金红石阶段；最后进入表生期。金矿物在硫化物阶段形成。

乳白色石英是含大量胶体分散状态气液包裹体的表现，表明它是在较高温度条件和较高

压力条件下形成的。硫化物阶段中最后形成的闪锌矿颜色很浅，基本不含铁。此种闪锌矿是在低温条件下形成的，因铁在闪锌矿中取代锌的量是温度增高的函数。由此可见金矿物是在温度逐渐降低条件下形成的。

经统计多数金矿物(>60%)产于乳白色石英孔、裂隙之中，少数产于第一世代黄铁矿裂隙、晶隙之中或与第二世代黄铁矿共生。可见金矿物并非“寄生”矿物，即金矿物并不一定要寄生于某种矿物之中。但金矿物晚于第一世代黄铁矿与第二世代黄铁矿和多金属硫化物共生说明金矿物与硫化物的形成有密切联系，金矿物是溶液中  $S_2^{2-}$  离子浓度降低、 $S^{2-}$  离子浓度增加的条件形成的。

### 5 金矿物形成机理

硫离子对金的搬运作用已为地质工作者公认，但对金的溶解和沉淀机制人们并未作具体分析。

金的氧化-还原电位极高：



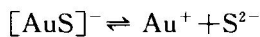
大多数氧化剂具有相对较负的电极电位，不能氧化金，即金不易被氧化成离子状态进入溶液，但由能斯特(Nernst)方程可知，金属在盐溶液中的电位取决于该金属的离子浓度：

表1 成矿作用期、阶段示意图

矿物	热液期				表生期
	石英阶段	黄铁矿阶段	硫化物阶段	金红石阶段	
石英	——				
磁铁矿		——			
黄铁矿		——			
自然金			——		
黄铜矿			——		
黝铜矿			——		
方铅矿			——		
闪锌矿			——		
金红石				——	
铜兰				——	——
赤铁矿					——
褐铁矿					——

$$\varphi = \varphi^0 + 0.0592 \lg \alpha_{Au^+} \quad (1)$$

上式表明，降低溶液中 Au<sup>+</sup> 离子的活度，可以降低金的氧化还原电位。这种情况正是硫化物溶液中金溶解的基础。Au<sup>+</sup> 离子与 S<sup>2-</sup> 离子可生成非常牢固的络合物 [AuS]<sup>-</sup>，其解离平衡式：



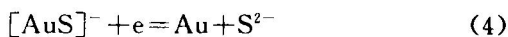
具有极小的不稳定常数：

$$\beta = \frac{\alpha_{Au^+} + \alpha_{S^{2-}}}{\alpha_{[AuS]^-}} = 1.3 \times 10^{-39.9} \quad (2)$$

因此在有 S<sup>2-</sup> 离子存在条件下，Au<sup>+</sup> 离子活度显著降低。从(2)式求出 Au<sup>+</sup> 离子活度  $\alpha_{Au^+}$ ，并将此值代入(1)式：

$$\begin{aligned} \varphi &= 1.68 + 0.0592 \lg(1.3 \times 10^{-39.9} \frac{\alpha_{[AuS]^-}}{\alpha_{S^{2-}}}) \\ &= -0.675 + 0.0592 \lg(\frac{\alpha_{[AuS]^-}}{\alpha_{S^{2-}}}) \end{aligned} \quad (3)$$

此方程表示含游离 S<sup>2-</sup> 离子溶液中



这一半反应的标准电位等于 -0.675 V。这样，S<sup>2-</sup> 离子与 Au<sup>+</sup> 离子结合成牢固的络合物可显著降低金的氧化还原电位。

硫化物溶液中无游离氧等强氧化剂，但存在多硫离子。多硫离子可以是一种氧化剂，如 S<sub>2</sub><sup>2-</sup> 离子像过氧离子一样能获得 2 个电子成为 2 个 S<sup>2-</sup> 离子：



由此半反应的标准自由焓变  $\Delta G^0$  可计算出电对 S<sub>2</sub><sup>2-</sup>/S<sup>2-</sup> 的标准电极电位  $\varphi^0 = -0.477 V$ 。可见 S<sub>2</sub><sup>2-</sup> 离子在硫化物溶液中可作为金的氧化剂。

半反应式(5)的能斯特方程为：

$$\varphi = \varphi^0 + \frac{0.0592}{2} \lg \left( \frac{\alpha_{S_2^{2-}}}{\alpha_{S^{2-}}} \right)$$

此式表明增加溶液中  $\alpha_{S_2^{2-}}/\alpha_{S^{2-}}$  的比值，即增加 S<sub>2</sub><sup>2-</sup> 离子浓度可增加 S<sub>2</sub><sup>2-</sup>/S<sup>2-</sup> 电对的电极电位。降低  $\alpha_{S_2^{2-}}/\alpha_{S^{2-}}$  的比值，即增加 S<sup>2-</sup> 离子的浓度可减少 S<sub>2</sub><sup>2-</sup>/S<sup>2-</sup> 电对的电极电位。亦即 S<sub>2</sub><sup>2-</sup> 离子的浓度高时，S<sub>2</sub><sup>2-</sup> 离子可成为半反应式(4)中的氧化剂，Au 被 S<sub>2</sub><sup>2-</sup> 离子氧化成 Au<sup>+</sup> 络合物而进入溶液。S<sup>2-</sup> 离子浓度较高时，S<sup>2-</sup> 离子可成为半反应式(4)中的还原剂，AuS<sup>-</sup> 络离子被 S<sup>2-</sup> 离子还原为 Au 而沉淀析出。

上述分析是珀玛金矿床金矿物与硫化物关系密切，晚于第一世代黄铁矿，而与第二世代黄铁矿和多金属硫化物同时形成最可能的原因。

### 参考文献

- 1 马斯列尼茨基 N H(著)，田玉芝等(译)，贵金属冶金学，北京：原子能出版社，1992。
- 2 张文昭，王鹤年，王曼云，配位化学及其在地质学中的应用，北京：地质出版社，1987。
- 3 史红云，黄金，1993，14(5)：1-5。