

# 金迁移的一种可能机理——羰基络合物<sup>①</sup>

王铁军<sup>②</sup>

(冶金工业部天津地质研究院, 天津, 300061)

**摘要** 本文提出金迁移的一种可能机理, 一价金与一氧化碳结合形成 $[\text{Au}(\text{CO})_2]^+$ 。它可能是成矿流体中金迁移的重要形式。

**关键词** 羰基络合物, 一氧化碳, 氰根

## 1 成矿流体中金的迁移形式

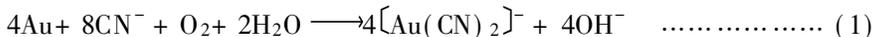
金矿化流体以中低温热液为主。水溶液中挥发组份有  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2$  等, 阴离子组份有  $\text{Cl}^-$ 、 $\text{HS}^-$ 、 $\text{S}^{2-}$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 、 $\text{Br}^-$ 、 $\text{F}^-$ 、 $\text{OH}^-$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$  等, 阳离子组份有  $\text{K}^+$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Fe}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Cu}^+$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$ 、 $\text{Ag}^+$ 、 $\text{Au}^+$ 、 $\text{H}^+$  等。金主要以硫或氯的络合物形式迁移<sup>[1]</sup>。如 $[\text{Au}(\text{HS})_2]^-$ 、 $[\text{AuOHCl}]^-$ 、 $[\text{AuCl}_2]^-$ 、 $[\text{AuCl}_4]^-$ 。溶液中  $\text{SiO}_2$  能提高金的溶解度。此外, 金与砷锑等硫化物的配合作用也不容忽视。

## 2 金与一氧化碳形成络合物的可能性

$\text{Au}(\text{I})$  与  $\text{CO}$  能否形成羰基络离子, 目前尚未见报导。

一氧化碳分子中碳原子与氧原子双键结合, 其结构式 $[\text{:C}=\text{O}]$ 。碳原子上存在孤对电子, 孤对电子的存在使  $\text{CO}$  化学性质较活泼, 易与过渡族金属元素化合<sup>[2]</sup>, 如  $\text{CO}$  与  $\text{Ni}$  化合形成  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ 。

$\text{CO}$  分子结构与氰根 $[\text{CN}^-]$ 相似。我们知道氰化钠是提炼金最有效的物质, 溶液中只需万分之几的  $\text{NaCN}$  即能使矿石中金几乎全部溶解。反应式:



氰根结构式 $[\text{:C}\equiv\text{N}]^-$ ,  $\text{C}$ 与 $\text{N}$ 以三个共价键结合, 氰根中 $\text{N}$ 原子获得三个电子, 外层电

① 收稿日期: 1998-01-19 审回日期: 1998-02-19

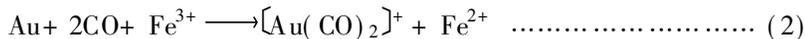
② 作者简介: 王铁军, 男, 1963年10月生, 高级工程师, 矿床地质专业

子是饱和的, C 原子上存在孤对电子。正是这个孤对电子与 Au(I) 形成共价键, 生成稳定的  $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ 。与  $\text{CN}^-$  结构相似, CO 分子中 C 原子上的孤对电子易与 Au(I) 成键。因此, 我们预期 Au(I) 与 CO 结合形成稳定的羰基络离子  $[\text{Au}(\text{CO})_2]^+$

### 3 金的萃取、迁移与沉淀机制

金矿化流体以中低盐度含  $\text{CO}_2$  水溶液为特征, 流体中 CO 含量一般  $n \times 10^{-4} \sim n \times 10^{-3}$ 。矿化流体具备形成  $[\text{Au}(\text{CO})_2]^+$  的条件。

地壳各类岩石中金呈杂质存在于矿物晶格结构缺陷中。金含量与含铁矿物关系密切。如黑云母、角闪石等矿物含金较高。若使  $\text{Au}^0$  从岩石或岩浆转入矿化流体中, 流体必对金具有高的萃取能力。含 CO 的流体与岩浆或岩石作用过程中可能发生如下反应:



依据反应式(2), 萃取金的条件是流体中 CO 含量较高, 而岩浆或岩石中具有合适的  $\text{Fe}^{3+}$  与  $\text{Fe}^{2+}$  含量。这要求萃取液呈还原性,  $f_{\text{O}_2}$  相对较低。

现代地幔中金的丰度低于地壳金的克拉克值, 因而金矿床中金并非直接源于地幔。太古宙中基性变质岩常具高的金背景值, 是形成金矿的重要源岩。例如中国胶东地区的胶东群变质岩金丰度值  $4.81 \times 10^{-9} \sim 45 \times 10^{-9}$ , 高于地壳平均值 3~9 倍<sup>[3]</sup>。中国金矿产量约 1/4 产于胶东半岛与胶东群相关的岩石中。

Au(I) 与 CO 形成羰基络离子, 其反应式



导致金沉淀的主要因素是溶液中 CO 浓度降低。流体中金含量与 CO 含量平方成比例。成矿场中导致 CO 含量下降的主要因素是:

(1) 流体沸腾作用, 构造作用产生的减压空间是流体沸腾的主要因素。

(2) 下降的地表水与深源流体相混合, 导致流体中 CO 被稀释。

(3) 流体中  $f_{\text{O}_2}$  突然升高。地表降水显然具有相对高的  $f_{\text{O}_2}$ , 此外围岩中氧化矿物或氧化带的存在以及流体中矿物沉淀反应等均可能导致  $f_{\text{O}_2}$  升高, 引起 CO 含量下降。

### 4 结束语

作者大胆提出金迁移的一种可能机理, 即金以  $[\text{Au}(\text{CO})_2]^+$  络阳离子形式迁移。目前尚缺乏实验依据。但有一个地质事实可能支持这一假说。许多石英脉型金矿发育明金包, 金矿物呈不规则脉状分布在石英脉内, 金的赋存状态以裂隙金为主, 其次为包体金和晶隙金。与金矿物共生的只有石英, 其它硫化物很少见到。显然, 经典的金迁移理论对这种明金包现象难以解释。

如果金以  $[\text{Au}(\text{CO})_2]^+$  形式迁移, 那么在大量硫化物沉淀之后, 流体中仍存在一定量的金。中低温成矿作用阶段, 构造作用使已形成的矿脉局部空间再破裂。形成减压空间, 导致流体运移过程中  $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$  等挥发组份逸失。即可在石英脉裂隙中生成大量明金矿物。

### 参考文献

1. 毛华海, 张哲儒. 热液中金的沉淀机理研究综述. 地质地球化学, 1997, (2)
2. 杨晓娟, 等.  $(\text{p-MeOPh})_2\text{TeM}(\text{CO})_5$  的合成和表征及  $\text{M}(\text{CO})_6$  ( $\text{M} = \text{Mo}, \text{W}$ ) 的氧转移反应动力学研究. 科学通报, 1995, (15)
3. 杨士望. 论胶东半岛西北部胶东群地层金的矿源层和金矿床的层控性质. 地质找矿论丛, 1986, (3)

## A POSSIBLE MECHANISM OF GOLD TRANSPORTATION

### —Au CARBONYL COMPLEXES

*Wang Tiejun*

*(Tianjin Geological Academy, the Ministry of Metallurgical Industry)*

#### Abstract

A hypothesis has been proposed in this paper that gold is transported in hydrothermal fluid in the form of gold carbonyl complex  $-\text{Au}(\text{CO})_2^+$ . It is a possible form of gold transportation in hydrothermal gold deposit.

**Key words** Carbonyl complex, carbon dioxide, cyanogen