

西秦岭寒武系金矿床中金-硒共生的物理化学条件

刘家军¹, 刘建明², 郑明华³, 刘显凡³, 冯彩霞¹

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学开放研究实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院 矿物资源探查研究中心, 北京 100101; 3. 成都理工学院 矿床地质研究所, 四川 成都 610059)

关键词: 金矿床; 金-硒共生; 物理化学条件; 西秦岭

中图分类号: P618.51 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2000)04-0231-02

国内外文献中所述的含硒矿物的金矿床, 多是一些与陆相火山作用有关、富砷化物的浅成热液金-银矿床。作者所研究的富含大量硒的独立矿物并有硒矿物产出的金矿床, 既与陆相火山作用无关^[1, 2], 又无银的异常和砷矿物产出^[1, 2]。

1 金矿床的物质组成

西秦岭南亚热带寒武系中的金矿床, 由拉尔玛、邛莫金矿床和牙相金矿点组成。矿床赋存于由碳质硅岩和碳质板岩组成的硅岩建造中, 受地层、岩性、构造控制十分明显。矿床中矿物组成十分复杂, 已鉴定出的矿物多达 80 余种。常见矿物有自然金、硒汞矿、硒铅矿、黄铁矿、白铁矿、辉锑矿、石英、重晶石和地开石等。值得一提的是, 矿床中有多种硒矿物产出, 如硒汞矿、硒铅矿、硒锑矿、硒镍矿等。矿物种类之多以及硒矿物的广泛出现, 是矿床的一大特点^[1]。根据矿物共生组合和其他特征(如脉体的穿插关系、矿石组构等), 可将金、硒富集成矿分为两个阶段^[2], 即黄铁矿-白铁矿-黄铜矿-斑铜矿-自然金-石英成矿早阶段和辉锑矿-硒化物-自然金-石英-重晶石成矿主阶段。

2 金、硒富集的物理化学条件

2.1 流体包裹体的温度、盐度及压力

石英、重晶石包裹体的均一温度测定显示, 在 Au、Se 富集的早阶段, 成矿温度为 222~269℃, 平均 242℃; 主阶段则为 142~265℃, 平均 197℃。冷冻法测定的两阶段流体包裹体的盐度分别为 6%~8% NaCl 当量和 2.0%~14.0% 当量。对应的流体密度分别为 0.85~0.88 g/cm³ 和 0.86~0.95 g/cm³。仅利用温度、密集与压力的关系, 获得两个成矿阶段的压力分别为 20~30 MPa 与 11~20 MPa。若以 25.33

MPa/km 地压梯度计算, 两阶段的成矿深度分别为 0.79~1.18 km 和 0.36~0.79 km。说明成矿作用发生在地壳较浅的部位。

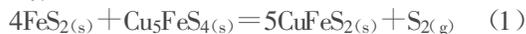
2.2 成矿流体的化学组成及物理化学参数

不同阶段石英、重晶石的流体包裹体化学成分分析数据显示出如下总体特征: 1) 流体中阴阳离子的电荷不平衡, 阴离子的电荷当量明显大于阳离子。表明溶液中有其它金属阳离子的显著加入。事实上, 在流体组份中含有一定量的金属阳离子, 如 Au⁺、Au³⁺、Cu²⁺、Zn²⁺、Ba²⁺ 等; 2) 流体中 F/Cl 值较高, 多数样品大于 1, 从而显著地区别于沉积盆地成因的原生热卤水。3) 气相组份中 CO₂ 的摩尔分数较低, 表明此类矿床成矿流体并非富 CO₂ 的流体, 因而矿石中极少见碳酸盐矿物, 也未见含 CO₂ 的三相包裹体; 4) 气相成分中, 成矿主阶段的 O₂ 含量明显高于早阶段, 溶解组份中的 SO₄²⁻ 也存在类似趋势。这可能表明成矿流体从早阶段到主阶段, 氧化性增强, 酸性也有所增加; 5) 石英、重晶石包裹体成分中硒的含量也较高, 为 (125~250) × 10⁻⁶。

根据包裹体成分计算出成矿流体在富硒、金时期的物理化学参数(表 1)表明, 相对于成矿早阶段而言, 成矿主阶段温度、压力较低, f_{O₂} 较大, 且成矿流体相对偏酸性和具较高的氧化还原电位。

2.3 流体的 f_{S₂} 和 f_{Se₂}

由于成矿早、主阶段分别存在黄铁矿-黄铜矿-斑铜矿、黝铜矿-块硫锑铜矿等矿物的共生组合, 故成矿早、主阶段流体中的 f_{S₂} 可由下列两个反应式分别求出:



$$\log f_{\text{S}_2(1)} = \log k_1$$

$$\log f_{\text{S}_2(2)} = -\log k_2$$

收稿日期: 2000-06-25 收到, 08-25 改回

基金项目: 国家自然科学基金(49773197)和中国科学院“百人计划”资助项目

第一作者简介: 刘家军(1963-), 男, 研究员, 矿床地球化学专业。

表1 流体包裹体物理化学参数

成矿阶段	温度/℃	压力/MPa	$f_{O_2}/10^5\text{Pa}$	$f_{CO_2}/10^5\text{Pa}$	$f_{H_2}/10^5\text{Pa}$	pH	El/V
早阶段	242	25	$10^{-38.095}$	$10^0.6$	$10^{-1.054}$	5.74	-0.478
主阶段	197	16	$10^{-36.877}$	$10^0.7$	$10^{-1.362}$	4.63	-0.226

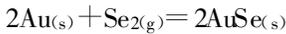
式中 K_i 为反应式 (i) 的平衡常数。Patterson 等^[3] 给出了两式的平衡反应常数与温度的函数关系:

$$\log k_1 = 12.560 - 1.1067 \times 10^4 / T$$

$$\log k_2 = -(-41572 + 32.84T) \times 4.184 / (2.303RT)$$

通过计算得到,成矿早阶段的 f_{S_2} 为 $(10^{-9.80} - 10^{-7.86}) \times 10^5\text{Pa}$, 主阶段为 $(10^{-14.71} \sim 10^{-9.74}) \times 10^5\text{Pa}$ 。

f_{Se_2} 可由下式求出:



$$f_{Se_2} = -\log k_3$$

根据 Simon 等^[4,5] 资料可得:

$$\log k_3 = -(-167.303 + 0.197T - 1.625 \times 10^5 T^2) / (2.303RT)$$

在成矿早、主阶段均有自然金产出,而无 AuSe 产出。故富硒、金早阶段的 $f_{Se_2} < 10^{-7.11} \times 10^5\text{Pa}$, 主阶段 $f_{Se_2} < 10^{-8.70} \times 10^5\text{Pa}$ 。对于成矿主阶段的 f_{Se_2} , 可以利用反应式 $2\text{PbS(s)} + \text{Se}_2(\text{g}) = 2\text{PbSe(s)} + \text{S}_2(\text{g})$ 和 PbS-PbSe 固溶体系列端元矿物中 S、Se 含量进一步得到。当 $10^{-14.71} < f_{S_2} < 10^{-9.74}$ 时, $10^{-15.92} < f_{Se_2} < 10^{-10.92}$ 。

图1为成矿主阶段的 f_{S_2} - f_{Se_2} 关系图解。从中可见,在成矿主阶段矿石矿物有黄铜矿、黄铁矿和方硫镍矿,无斑铜矿、磁黄铁矿和硫镍矿,则有 $10^{-12.15} < f_{S_2} < 10^{-10.99}$ 。矿石矿物中存在辉锑矿-硒锑矿、辰砂-硒汞矿、方铅矿-硒铅矿,并有自然金产出,但无银的硫化物、硒化物和金的硒化物。故在 $10^{-12.15} < f_{S_2} < 10^{-10.99}$ 范围内,则有 $10^{-14.63} < f_{Se_2} < 10^{-8.70}$ 。由于成矿主阶段矿石矿物主要由硒汞矿和辉锑矿组成,因此, f_{Se_2} 主要集中在 $10^{-12.19} \sim 10^{-10.53}$ 范围内(图1中点密集区)。

同样可得到成矿早阶段的 $f_{S_2} = 10^{-8.93}$, $f_{Se_2} < 10^{-7.11}$ 。

综上所述,西秦岭寒武系富硒金矿床的形成具有特殊的成矿环境,即富硒、金成矿流体为中低温(142~269℃)、低压(11~30MPa)。成矿早期, f_{O_2} 、 f_{Se_2} 相对较低, f_{S_2} 较高,且 $f_{S_2}/f_{Se_2} < 1$, 有利于硫化物沉淀。此时,成矿流体中硒的沉淀不能有效地与硫分离,因而形成的多是一些含硒硫化物。在成矿主

阶段,随着硫化物的沉淀, f_{S_2} 、 f_{Se_2} 相应增大,且 f_{O_2} 较高。高的 f_{O_2} 阻止了硒进入硫化物,而有利于硒化物的形成。特别是当硫被氧化成硫酸根离子后,更有利于硒与硫的分离,导致大量硒矿物的形成。因此,矿床中金、硒的共同富集必须具备两个条件:一是具有丰富的金、硒来源;二是有相对氧化的环境。

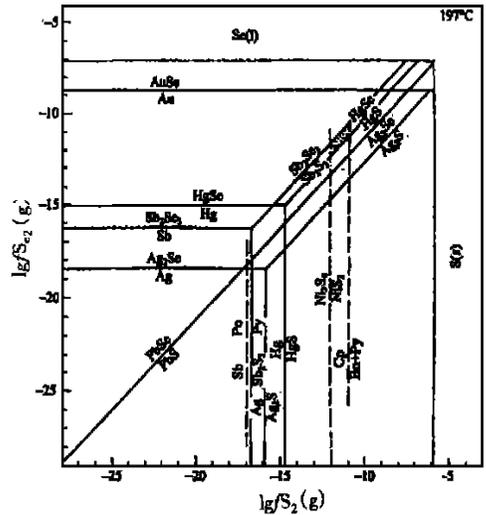


图1 金矿床中硒化物生成时(197℃)的硫逸度(f_{S_2})与硒逸度(f_{Se_2})的关系图解

cp. 黄铜矿; pa. 磁黄铁矿; py. 黄铁矿; bn. 斑铜矿; 点密集区为研究矿床中硫化物与硒化物沉淀时的主要逸度范围

参考文献:

- [1] 刘家军, 郑明华, 刘建明, 等. 西秦岭寒武系金矿中硒的富集规律及其找矿前景[J]. 地质学报, 1997, 71(3): 266-273
- [2] Liu Jiajun, Zheng Minghua, Liu Jianming, et al. Geochemistry of the La'ema and Qiongmo Au-Se deposits in the western Qinling Mountains, China[J]. Ore Geology Review, 2000, 15.
- [3] Patterson D J, Ohmoto H, Solomon M. Geological setting and genesis of cassiterite-sulfide mineralization at Renison Bell, western Tasmania[J]. Econ. Geol., 1981, 76(2): 393-438.
- [4] Simon G, Essene E J. Phase relation among selenides, sulfides, tellurides, and oxides: I. Thermodynamic data and calculated equilibria[J]. Econ. Geol., 1996, 91: 1183-1208.
- [5] Simon G, Kesler S E, Essene E J. Phase relation among selenides, sulfides, tellurides, and oxides: II. Application to selenide-bearing ore deposits[J]. Econ. Geol., 1997, 92: 468-484.