

金厂峪金矿床成矿流体地球化学 性质对金沉淀的制约

秦大军* 蔡新平 王杰

(中国科学院地质研究所, 北京)

提 要: 本文对河北金厂峪金矿床蚀变围岩和石英脉组分进行的对比分析, 得知蚀变围岩中 Al_2O_3 、 P_2O_5 、 MnO_2 含量变化较小, 石英脉中 SiO_2 、 FeO 、 CaO 、 MgO 、 Sr 、 Ba 、 Sc 、 Zn 、 Ga 、 Ta 、 Au 、 Ag 、 Y 、 Pb 、 REE 分布模式等相对于蚀变岩有明显不同。矿石中硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 值接近 0‰, 矿石围岩 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $-5.0\text{‰} \sim +3.2\text{‰}$, 矿石铅的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 明显高于岩石铅。矿石中铁白云石 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化于 $-2.3\text{‰} \sim -8.4\text{‰}$, 与初生碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值 ($-5\text{‰} \sim -8\text{‰}$) 接近, 石英包裹体 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化于 $-3.55\text{‰} \sim -8.44\text{‰}$ 。脉体内的石英与碳酸盐岩, 以及金属矿物都是相同成矿流体的产物, 成矿流体具有深源特征。大气水及形成裂隙引起的减压作用是深源流体性质改变和组分沉淀的主要因素。

关键词: 蚀变岩 矿体 成矿流体 金成矿作用 河北金厂峪

金厂峪型金矿成矿作用在时代上存在两种不同认识: 一种认识是太古宙成矿^[1]; 另一种认识则为中生代成矿^[2]。太古宙成矿模式研究的重点是对太古宙岩石变质变形的描述, 金矿的形成直接为剪切带形成与演化控制。金厂峪金矿的找矿实践表明中生代构造控矿模式可能更有利于研究该区成矿规律和进行成矿预测^[3]。金厂峪型金矿床是形成于太古宙还是中生代, 金来源于太古宙变质岩系还是来源于深部, 要解决这些问题应该对矿体与围岩进行较全面的对比分析。我们认为: 围岩对金矿床的形成贡献不明显, 成矿流体及其中所携带的矿质主要来源于深部。

1 矿体及蚀变围岩地质特征

(1) 地质关系方面的证据表明矿体更明显地受中生代的构造控制, 北东向的剪切带构造控制矿体的产状。蚀变带中钠长石、绢云母年龄测定结果^[1]表明, 年龄值主要有两个区间, 一为 $50 \times 10^6 \sim 150 \times 10^6$ a; 另一为 $175 \times 10^6 \sim 200 \times 10^6$ a, 因此, 蚀变与矿化可能主要发生于印支晚期—燕山期早期, 及燕山中晚期。

(2) 韧性剪切变形在岩石上表现为岩石破裂→破碎→糜棱岩化, 而组成岩石的矿物表现为被拉伸、不对称变形、位错蠕变、滑移动力重结晶, 晶体形态、大小、边界特征和内部结构特征被改变, 但矿物相并没有改变。在韧性变形过程中无明显的组分变化, 早期韧性变形

* 秦大军, 男, 1964年生, 博士生, 从事矿产资源评价预测、金矿床成矿规律和地质勘查研究工作。邮政编码:

是在等化学条件下进行的(张秋生等, 1991)。因此, 韧性剪切带中蚀变作用可以认为主要是由水岩相互作用产生的。

(3) Al_2O_3 、 P_2O_5 、 MnO_2 等在蚀变带中相对稳定, 由岩石蚀变前后 Al_2O_3 含量比确定的斜率为 0.95~1.05 的等质量线反映了岩石蚀变后 Al_2O_3 的质量改变不明显(图 1)。 SiO_2 的含量也接近这条线, 由于岩石硅化较强, 岩石蚀变时组分 SiO_2 会有较明显的带入和带出。 Al_2O_3 浓度变化较小, 这可能与岩石蚀变过程中, 含铝矿物一直存在有关。蚀变岩中 Al_2O_3

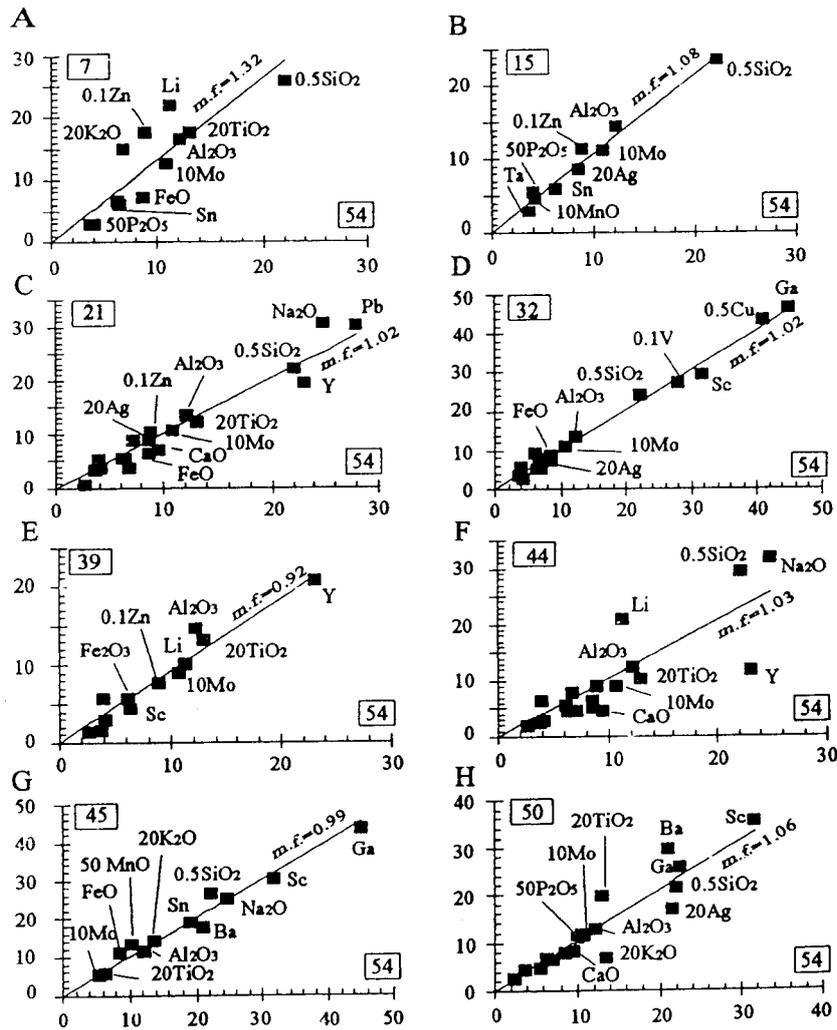


图 1 金厂峪金矿床蚀变岩相对于弱蚀变岩对应组分相关图

图中样品 7、15、21、32、39、44、45、50 都以 54 号样品(蚀变程度最低)作为参考。主要元素坐标(横)轴单位为重量百分比(%),微量元素坐标(纵)轴单位为百万分之一(ppm)。为了作图方便,对元素含量进行了一定倍数的扩大或缩小,如 10Mo 表示 Mo 含量扩大 10 倍。m.f. (mass factor) 为用最小二乘法获得回归直线的斜率, m.f. = 1 时,称之为等浓度线,位于该线上的元素在蚀变过程中具不活动性。许多主要元素在蚀变过程中都是活动的,而微量元素含量非常低,蚀变岩质量的改变主要取决于 SiO_2 和 Al_2O_3 。由于在蚀变过程中岩石发生明显硅化,一定会发生明显的带入和带出 SiO_2 , 虽然 SiO_2 含量比位于等浓度线上(图 A、B、C、D、G、H), 它仍为活动元素。而 Al_2O_3 及一些微量元素如 MnO、TiO₂、Mo、

P_2O_5 等都位于 m.f. 接近 1 等浓度曲线上, 因此 具不活动性, 属不活动元素

含量变化较小，表明 Al_2O_3 具不活动性。

(4) 蚀变岩与石英脉中的元素，尤其是微量元素的变化具有明显的不同。石英脉中 SiO_2 、 FeO 、 CaO 、 MgO 、 Sr 、 Ba 、 Sc 、 Zn 、 Ga 、 Ta 、 Au 、 Ag 、 Y 、 Pb 等相对于蚀变岩明显增加。

(5) 岩石的标准化稀土分布中，石英脉体上盘和下盘蚀变岩，如斜长角闪岩、绿泥片岩、绢英岩等的稀土元素分布型式相似，负铕异常不明显，轻稀土略有富集，重稀土略有亏损，呈缓右倾斜，与新鲜的闪长玢岩稀土分布型式相似。 δEu 变化不大，一般大于 0.75。（钠长）石英脉稀土总量低，轻重稀土分异不明显，稀土分布型式呈平坦型，有较明显的正 Eu 异常。石英脉、褶皱石英脉、糜棱状钠长石英脉、石英复脉，以及钠长石英脉稀土总量有差异，尤其是当样品中含较多的蚀变围岩组分时稀土总量较高，但它们的稀土分布型式相似。与蚀变岩 REE 分布型式相比，石英脉稀土分布型式具明显的正 Eu 异常和较低的稀土总量（图 2）。石英脉的正 Eu 异常可能与其中钠长石、绢云母含量增加有关，或流体中这些组分的含量原本就相对较高。

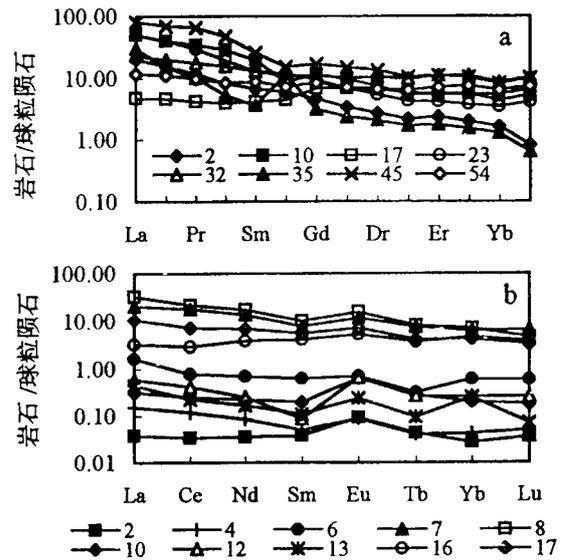


图 2 金厂峪金矿床主要蚀变岩和石英脉稀土元素分布图

图 a: 2—绢云片岩；10—绿泥绢云片岩；17—绿泥绢云片岩；23—绢云片岩；32—绿泥绢云片岩，35—绢云绿泥片岩；45—绿泥片岩；54—斜长角闪岩。图 b: 2—含金石英脉，并含有糜棱岩残块；4—次生石英岩；6—糜棱状钠长石英脉；7、8—同变质石英复脉；10、12、13—石英脉；16、17—钠长石英脉

2 成矿流体及同位素地球化学特征

(1) 矿脉石英中有液相和气液两相包裹体，气液比一般为 4%~9%，包裹体数量较少，包裹体直径 $< 2 \mu m$ 。石英与黄铁矿内包裹体爆裂温度分别为 134~325℃ 和 144~265℃。石英包裹体的均一温度为 295~341℃，平均 318℃。

(2) 石英包裹体的均一温度有随深度升高的趋势（宋瑞先等，1994），表明垂向热梯度特征仍然较好地保留，区域退变质作用对于矿带无明显影响。

(3) 与峪耳崖金矿床相比，金厂峪金矿床石英包裹体成分中 CO_2 的含量低，低于峪耳崖金矿床数倍。岩体内成矿流体 CO_2 含量高，远离岩体时 CO_2 则降低，可能与成矿流体和围岩相互作用有关（如发生碳酸盐化）。

(4) 矿石中硫化物 $\delta^{34}S$ 值接近 0‰，矿石围岩片糜岩 $\delta^{34}S$ 为 -5.0‰~+3.2‰，斜长角闪岩 $\delta^{34}S$ 为 0.8‰~5.2‰。矿石与围岩硫同位素组成不同。

(5) 蚀变岩石和矿石铅集中分布在两个不同区域中：矿石铅的 $^{206}Pb/^{204}Pb$ ， $^{207}Pb/^{204}Pb$ 明显高于岩石铅，矿石铅同位素组成与岩石铅同位素组成不同。

(6) 金厂峪金矿床的铁白云石 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化于 $-2.3\text{‰} \sim -8.4\text{‰}$, 与初生碳 $\delta^{13}\text{C}$ 值 ($-5\text{‰} \sim -8\text{‰}$) 接近, 具有来自深源的可能性。矿化石英脉中石英包裹体 $\delta^{13}\text{C}$ 值变化于 $-3.6\text{‰} \sim -8.4\text{‰}$, 与碳酸盐一致, 而且白云石形成温度小于 350°C , 因此, 形成石英和铁白云石的流体应该是相同的。脉体内的石英与碳酸盐岩, 以及金属矿物都是相同成矿流体作用的产物, 并且这种流体具有深源特征。

3 成矿流体性质及对金发生沉淀的制约

根据华北地台和金厂峪金矿区地质环境、含矿建造分析、蚀变岩化学成分、包裹体和同位素资料, 金矿床的形成与深源成矿流体的动力学性质、成矿流体与围岩的相互作用, 以及成矿流体与地壳浅部流体相互作用有密切关系。

3.1 成矿流体的动力学性质

流体的形成可能与地幔热异常、部分熔融作用、韧性剪切作用有关。这些作用不仅导致了大量流体的形成, 同时也是金活化运移、富集的重要机制, 不仅成矿流体来源于深处, 而且其中的金亦主要来源于深部, 金与流体形成于相似的构造环境。深源成矿流体的特征决定了, 它有独特的动力学性质, 可能主要处于超临界态, 是被压缩了的具有较高温度和压力的特殊性质的流体。流体有向低压、低温运移的趋势, 因此结构上的软弱带、断裂带等弱结构面成为流体运移时优先选择的通道。流体在早期运移时, 对围岩作用可能表现为受压力的影响, 使围岩形成张裂隙和破碎角砾岩带; 而温度的影响较弱。流体对围岩温度的影响是有限的, 只有在流体通道较宽时才可能使围岩产生大于 100°C 的热异常。在这种条件下流体与围岩之间的物质与热交换可能不明显。超临界流体的这种特性使其能够将成矿物质从深处携带致地壳浅部, 对金的富集和运移起重要作用。

3.2 成矿流体与地壳浅部流体作用

成矿流体的独特性质, 使它与地壳浅部流体在成分和温度压力性质方面具明显差异。当成矿流体上升到地壳浅部与地壳浅部流体相遇时, 与冷流体接触, 由于温度压力突然变化, 可能会诱发隐爆。矿石中常出现的破碎, 角砾状构造可能是这种爆炸作用的结果。这是导致流体性质发生突变的重要过程, 失去超临界性质的流体, 成为具有较强化学活性的流体。在金的沉淀过程中, 伴有流体与围岩之间的物质和热交换, 导致围岩发生不同程度的蚀变。

3.3 成矿流体与围岩的作用

矿区内的蚀变作用可以划分出不同的蚀变带, 其矿物组合, 矿物成分朝脉体方向都有一定的过渡性。脉体中微量元素与蚀变围岩中微量元素差异明显, 因此发生于脉体中的变化与发生于围岩中的变化是不同的, 表明蚀变是渐变的, 而成矿是突变的。蚀变与矿化之间无确定的对应关系。

参 考 文 献

- 1 张秋生, 杨振生, 高德玉等. 冀东金厂峪地区高级变质岩区地质与金矿床. 北京: 地质出版社, 1990.
- 2 蔡新平, 刘秉光, 季钟霖等. 金厂峪金矿的控矿构造及其地球物理验证. 黄金科学技术, 1994, 2 (5): 1~7.
- 3 秦大军, 蔡新平, 王杰等. 河北金厂峪金矿床地球化学特征, 地质与勘探, 1997, (5): 4~9.