

# 东天山康古尔剪切带型金矿床 成矿作用动力学研究\*

张连昌 姬金生 杨兴科

赵伦山

(西安工程学院, 西安)

(中国地质大学, 北京)

**提 要:** 对康古尔剪切带型金矿成矿体系地质地球化学特征研究后认为: 康古尔金矿形成于脆韧性剪切变形和脆性变形阶段; 康古尔金矿热液成矿反应体系包括成矿反应、控制反应及缓冲控制反应 3 类; 该金矿石英位错密度法所测成矿期构造差异应力值为 101~133 MPa, 并呈周期性演化, 同时成矿反应热力学性质和反应进行的程度受所处的地质环境和构造动力学条件的制约。

**关键词:** 剪切带型金矿 成矿反应体系 成矿动力学 东天山康古尔

成矿地质地球化学动力学观点<sup>[1]</sup>认为成矿作用是一种区域性地质现象, 是通过地壳局部地段发生的某些自然化学反应得到实现的, 自然成矿反应体系是一种开放的、动态的、具有多阶段演化特征的体系, 其热力学性质和反应进行的程度受所处地质环境和构造动力学条件制约。本文通过研究新疆东天山康古尔剪切带型金矿成矿体系的地质地球化学特征, 对成矿动力学进行初步探讨。

## 1 成矿体系地质地球化学特征

成矿作用发生于一定的时空范围内, 即成矿体系内。热液成矿体系主要包括构造体系、含矿岩系、矿化体、围岩蚀变、成矿流体等要素。

### 1.1 构造体系

康古尔金矿床包括康古尔、马头滩等金矿区及一些金矿点。金矿床位于秋格明塔什-黄山巨型韧性剪切带的南缘。该剪切带在区域上呈近东西向展布, 延长大于 400 km, 南北宽 20~40 km, 从剪切带中部向两侧剪切变形具分带性。剪切带中部(康古尔塔格深断裂-雅满苏深断裂之间)为中深构造层次的韧性剪切变形带, 雅满苏深断裂-65 号断裂之间为韧性向脆性变形的过渡地带, 65 号断裂以南为脆性变形区。金矿化集中分布于韧性向脆性转变的脆韧性剪切带中<sup>[2]</sup>。

由于次级脆韧性剪切带与区域巨型韧性剪切带有一定的连通性, 区域韧性剪切带为成矿物质活化、成矿流体迁移活动提供了条件, 而容矿构造主要为次级脆韧性剪切带。

矿区脆韧性剪切带由呈条带状、似层状或透镜状的糜棱岩、千糜岩及糜棱岩化安山岩、碎裂岩组成, 沿走向呈舒缓波状。矿床或矿点位于 NEE 向剪切带局部转为 EW 向地段, 这

\* 国家 305 攻关项目 (85-902-05) 资助

张连昌, 男, 38 岁, 副教授, 中国地质大学(北京)博士生, 地球化学专业。邮政编码: 710054

些部位是脆韧性剪切带中的张性段,有利于矿液聚集。应用透射电镜对各成矿阶段矿石中石英进行晶体位错密度法测量,求得成矿期平均构造差异应力值为 101~133 MPa,该差异应力值在整个成矿期呈强烈的脉动性和周期性<sup>①</sup>,作者认为正是这种应力周期具“地震泵”效应,是金矿成矿的重要动力。

## 1.2 容矿围岩及矿化体

矿区容矿围岩为下石炭统阿齐山组海相中酸性火山岩及少量沉积碎屑岩。矿体分布于安山岩与凝灰岩之间。矿体主要由含金蚀变岩和少量矿化石英脉组成,矿体形态呈透镜状、不规则脉状,产状北倾,倾角 70°~80°,与糜棱岩面理产状基本一致。矿石中金属矿物主要有黄铁矿、磁铁矿,次要为闪锌矿、方铅矿、黄铜矿等,非金属矿物主要有石英、绿泥石,次要为绢云母、方解石、重晶石等。金矿物主要为自然金,少量为银金矿。自然金呈显微-次显微粒状或片状分布于黄铁矿、石英、绿泥石等矿物粒间,部分被包裹于黄铁矿中。

围岩蚀变发育,主要有硅化、绿泥石化、绢云母化、黄铁矿化、碳酸盐化等,并表现出一定的分带性。热液成矿可分为四个阶段:第Ⅰ为石英-黄铁矿-磁铁矿-绿泥石成矿阶段;第Ⅱ为石英-黄铁矿成矿阶段;第Ⅲ为石英-多金属硫化物成矿阶段;第Ⅳ为石英-碳酸盐成矿阶段。从矿石组构看,第Ⅰ阶段矿石以半自形粒状结构、微细脉状构造为主,绿泥石多呈定向排列,石英具动态重结晶现象,第Ⅱ~Ⅳ阶段矿石发育无定向结构,以网脉状和角砾状构造为主。矿石组构的变化反映了成矿构造环境从早期到晚期经历了由脆韧性到脆性变化的过程。

## 1.3 成矿流体地球化学

与金矿化有关的石英含有较多的包裹体,以液相包裹体为主,液相充填度在 70%~90%之间。包裹体形态多为不规则椭圆状,一般大小 1~4 μm,偶见含 NaCl 子晶的多相包裹体。有时在一个石英晶体内的邻近小范围内,可看到一组气液比和均一温度相差很大的包裹体群,这种包裹体群可能是在流体沸腾时不均匀捕获的结果,也就是说在成矿过程中发生过流体沸腾作用。

从对主成矿阶段矿物包裹体拉曼光谱分析结果<sup>[3]</sup>看,包裹体的液相成分主要为 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、H<sub>2</sub>S,气相成分主要为 CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、H<sub>2</sub>S 及 H<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 等。

成矿流体物理化学条件的研究结果<sup>[3]</sup>(表 1)表明,康古尔金矿成矿流体具有中等含盐度、弱酸性、弱还原、中低温等特征,成矿晚期其盐度、温度、压力有明显降低的趋势。这些物理化学条件的改变对成矿体系中矿质的活化迁移、沉淀可起到控制作用。

表 1 康古尔金矿成矿热液体系的演化

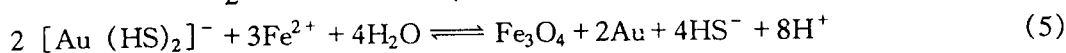
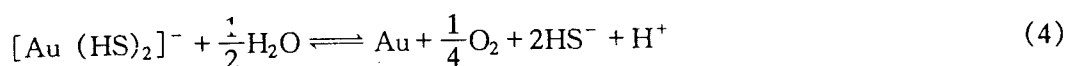
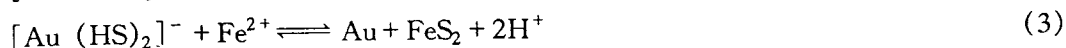
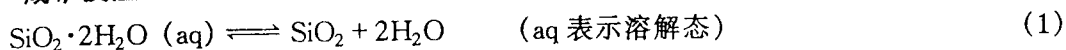
| 成矿阶段 | 温度/℃ | 压力/MPa | S <sub>NaCl</sub> /% | pH      | lgf <sub>O<sub>2</sub></sub> | lgf <sub>CO<sub>2</sub></sub> |
|------|------|--------|----------------------|---------|------------------------------|-------------------------------|
| I    | 250  | 100    | 14.60                | 4.6~5.4 | -36~-42                      | 2.5                           |
| II   | 190  | 60     |                      |         |                              |                               |
| III  | 150  | 50     | 12.5                 | 6.08    | -40~-42                      | 2.6~3.8                       |
| IV   | 125  | 15     | 11.47                |         |                              |                               |

① 张连昌等,1998,东天山康古尔金矿石英位错构造及其动力学意义,矿物学报,待刊

## 2 成矿反应体系

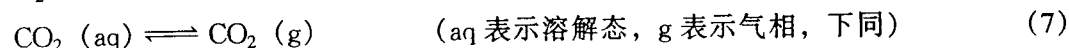
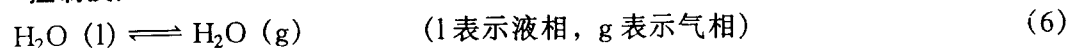
康古尔金矿热液成矿反应体系, 可以根据矿石、脉石和蚀变矿物组合以及流体包裹体成分分析结果来建立, 按照地球化学动力学意义, 可以将成矿反应体系划分为 3 类。

### 2.1 成矿反应



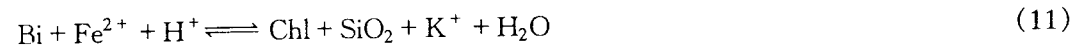
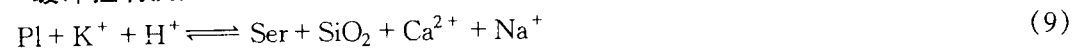
成矿流体中 Au 及其他成矿金属元素主要以  $\text{HS}^-$  的络合物  $[\text{Me}(\text{HS})_3]^-$  形式存在。络合物在一定条件下分解沉淀出 Au、硫化物、磁铁矿, 这就是反应体系中的成矿反应。

### 2.2 控制反应



这组反应是体系流体相的相平衡反应, 是根据沸腾包裹体中气-液相成分的相转变关系建立的。由于相转变, 主要取决于外界温度、压力、构造空间条件, 而这些条件也是成矿的控制因素, 所以相平衡反应就成为主要的成矿控制反应。

### 2.3 缓冲控制反应



式中 Pl——斜长石, Kf——钾长石, Ser——绢云母, Bi——黑云母, Chl——绿泥石。缓冲控制反应是根据围岩蚀变反应而建立的。

上述 12 组反应是康古尔金矿成矿体系中的主导化学反应, 当成矿流体处于不同构造环境时, 这些反应式表现出不同的反应性质和强度, 因而影响着成矿物质的迁移与沉淀。

## 3 动力学条件对成矿反应体系的控制

断裂活动的构造动力学性质及周期性变化对成矿反应体系有强烈的影响, 它控制矿质反应的速率及富集程度。矿区容矿构造经历了脆韧性剪切活动和脆性活动两个阶段 (或两种活动方式) 的演化过程。其中脆韧性剪切活动带内发育糜棱岩、千糜岩等构造岩, 该带是一种良好的缓冲-转换体系, 有适宜的构造地球化学障, 可自成一种圈闭。 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{H}_2\text{S}$  在其

中高度富集,中温、中压、弱酸性、弱还原等条件,有利于成矿反应体系的发生发展。当条件变化时,缓冲体系发生转换,金随时就可能发生沉淀。由于脆韧性变形阶段,沿糜棱面理出现了一些微张裂隙,形成缓冲→转换→缓冲→转换动态平衡体系,缓冲期间发生围岩蚀变(反应式(9)~(12)所示),转换过程中矿质发生沉淀((2)~(5)式),二者同步进行,形成蚀变岩型矿化。脆性活动,在剪切带活动后期,由于地壳抬升,区域张性应力的突然释放,造成矿化脆韧性剪切带脆性破裂。这种破裂是突发性的,是一种重要的构造动力学机制,其控矿意义在于形成扩容空间,使矿液迅速上侵和充填,以及矿液沸腾<sup>[4]</sup>,这是热液沿构造裂隙运输的主要动力和作用方式,且以快速方式进行。同时体系压力和温度的聚降和沸腾作用,使成矿反应中的 $H_2S$ 等溶解气相迅速逸出,导致 $SiO_2$ 溶解度大幅度下降,而快速结晶沉淀(反应(1)式),同时硫化物也结晶析出(反应(2)~(3)式)。因此,脆性破裂使矿液处于远离平衡的状态,加速矿质的晶出和分异,是有利于成矿的动力学条件。

从金的赋存状态看,矿石中金主要呈包体金、晶隙金或裂隙金。其中包体金形成于脆韧性构造活动性质的第Ⅰ成矿阶段,晶隙金或裂隙金多形成于热液演化的晚期(Ⅱ~Ⅳ成矿阶段),进入脆性阶段,原形成的黄铁矿等矿石发生碎裂作用,富Au、Ag、Cu、Pb、Zn等元素的残余溶液贯入其中,形成晶隙金或裂隙金并富含Cu、Pb、Zn等元素的硫化物矿石。这也是一种富金矿石,尤其是当晚期裂隙金叠加在早期包体金的矿石中时,矿脉膨大且富。这种富金矿石的形成是矿液的热力学分异演化与容矿断裂活动动力学条件有利匹配的结果,也称耦合成矿作用<sup>[1]</sup>。

### 参 考 文 献

- 1 赵伦山等. 热液成矿作用的地质地球化学动力学. 地球科学, 1994, 19 (3): 335~344.
- 2 张连昌, 曾章仁等. 东疆康古尔剪切带型金矿构造地球化学特征. 贵金属地质, 1997: 6 (3).
- 3 曾章仁, 张连昌. 新疆康古尔金矿床成矿物理化学条件和成矿机理分析. 西安地质学院学报, 1995, 17 (3): 1~8.
- 4 Drummond S E, Ohmoto H. 沸腾热液体系的化学演化与矿物沉淀作用. 地质地球化学, 1987, (5): 10~19.