

含金石英脉的红外光谱评价

朱钟秀 胡素清 刘丽华

(长春地质学院)

石英脉体中石英的气—液包裹体成分能反映其形成时的溶液性质。作者通过对几个有代表性石英脉型金矿床中石英气—液包裹体红外光谱特征的研究,提出包裹体中 H_2O 和 CO_2 的特征谱线强度可作为石英脉含金性的评价标志。

关键词: 石英脉含金性评价; 气—液包裹体; 红外光谱

已发现的金矿床类型中,含金石英脉是一个重要的矿床类型。即使在其他类型的金矿床中,石英也是主要的脉石矿物。因此通过研究石英,找出其与含矿和不含矿有关的某些特征标志,借以评价石英脉的含金性,无疑是一项有意义的工作。众所周知,在热液成因的石英脉体中,往往有很多气—液包裹体,其成分能近似地代表成矿时的热液组份特征,如石英包裹体中的 H_2O 、 CO_2 和K、Na等重要组份的含量,均与热液的矿化度、形成条件等因素有关。我们试图用红外吸收光谱研究气—液包裹体成分的变化特征,用以评价石英脉的含金性。在一些典型石英脉型金矿床上的试验研究初见成效。

1. 样品的选择

为有效的进行研究,选择有代表性的金矿床:河北地区与太古代韧性剪切带有关的金厂峪热液复脉型金矿床;与活化地台上中生代花岗岩有关的峪耳崖石英脉型金矿床;河北土岭—石湖地区岩浆热液石英脉型金矿床;山东招掖含金—硫化物热液脉型矿床;吉林延边地区燕山期火山—一次火山热液石英脉型金矿床;河北三家店石英—硫化物热液脉型金矿床;吉林延边海沟热液石英脉型金矿床等。矿床均具一定规模,贫富程度不一,矿床地质也具有较高的研究程度。为了有目的选择样品,我们研究了矿床的矿物组

合和各成矿阶段的特点。在此基础上,了解石英脉中各世代石英的矿物学特点,并收集有关该世代石英的化学成分和所含杂质元素的情况。拟研究的石英样品要求新鲜,不受后期构造破坏和化学作用的影响,并且有一定的块度和纯度,样品要求有代表性,要考虑到不同世代和不同的含金程度。

2. 待测试样品的制备与测试条件选择

从野外取回的样品,首先要进一步挑选,选出纯净的石英集合块体,对其中的一部分要进行薄片复查,确保石英具有一定的纯度。然后在磨片机上磨制包裹体的红外光谱测试薄片,面积 $15 \times 10 \text{mm}^2$,厚度 $0.2 \sim 0.4 \text{mm}$,两面抛光。在测试前务先用酒精将薄片上的树胶洗净,以除掉红外光谱图上 $2900 \sim 2800 \text{cm}^{-1}$ 区间 $CH_3 + CH_2$ 出现的谱带,避免分析干扰。

将制备好的石英薄片在IR-75型红外分光光度计上进行测试。实验条件为狭缝2,增益3,刻度为 $7.5 \text{mm}/100 \text{cm}^{-1}$,记录时间4.4分,时间常数1,减速0.3,记录范围 $4000 \sim 2000 \text{cm}^{-1}$,样品均在同一室温和湿度条件下测试。

3. 石英脉含金性红外光谱评价的依据

我们知道,含金石英脉均是在热水溶液的作用下形成的。但是自然界由热水溶液形成的石英脉很多,许多并不成矿,有些可形成

其他金属矿产, 含金的石英脉只是其中的很小一部分。这就表明热水溶液成矿是受很多因素控制的, 既有地质因素(如有利的岩浆岩条件、构造环境、围岩条件等), 也取决于热水溶液的成分、性质及其物理化学条件。就是说, 成矿的热水溶液必须有较高的矿化度, 具有利的搬运介质的矿化剂元素, 有适合成矿物质沉淀的温度、压力、溶液的酸碱度、氧化--还原环境等。而这些条件需在详细进行成矿的地质条件, 控制因素, 围岩蚀变, 矿物共生组合, 矿石结构构造, 成矿地球化学过程等诸因素研究后才能有所了解。

近年来, 许多学者对与成矿密切相关的石英进行了多方面研究工作, 结果表明, 石英的某些性质和特征能提供了解成矿热液性质和物理化学条件等方面的信息, 进而为评价热液成矿的可能性提供佐证。这是因为石英不但在自身晶体结构中混入有成矿热液中的碱、 Al_2O_3 、Au及其他成矿元素的杂质, 而且石英中存在大量的气-液包裹体, 其中含有K、Na、Ca、Mg等阳离子, Cl^- 、 HCO_3^- 、 F^- 、 SO_4^{2-} 等阴离子和 H_2O 、 CO_2 等, 这些均可帮助人们了解其形成时的溶液成分和物化条件。鉴于石英包裹体中均有 H_2O 和 CO_2 存在, 本研究是根据石英包裹体的红外光谱分析确定其中 H_2O 和 CO_2 含量及其比值关系, 借以评价石英脉的含金量。

对所有石英薄片包裹体的红外光谱分析均得到如下吸收谱带: $3400cm^{-1}$ 左右为 H_2O 的伸缩振动谱带; $2350cm^{-1}$ 左右为 CO_2 的反对称伸缩振动谱带; $2240\sim 2100cm^{-1}$ 为石英晶格振动的副振荡谱带。 H_2O 和 CO_2 的谱带强度随其含量增加而增大, 谱带位置与含量多少无关。这样就可以根据 H_2O 和 CO_2 的吸光度来确定它们的含量。确定 $H_2O(3400cm^{-1})$ 和 $CO_2(2350cm^{-1})$ 吸收谱带的吸收光度是以 $2200cm^{-1}$ 的谱带作为内标(系石英晶格振动的副振荡谱带, 每

个样品都可稳定地出现)。

根据兰柏一比耳定律, 当光程差固定时, 物质的吸光度与其浓度成正比, 即有:

$$A = \log(I_0/I) = abC$$

式中: A 为物质在分析波数位置的吸光度; I_0 为入射光强度; I 为透过光强度; a 为吸收物质的单位吸收系数; b 为样品厚度; C 为样品浓度。

在计算时, 需用内标 $2200cm^{-1}$ 的谱带, 故其相对吸光度值由下式确定:

$$A = \frac{E(S) \bullet}{E(CT) \bullet} = \frac{\log \frac{I_0}{I}(S)}{\log \frac{I_0}{I}(CT)}$$

由于内标值对所有样品都相同, 故可不考虑薄片厚度, 即 H_2O 和 CO_2 的吸光度值在分析波数中只与吸收系数成正比, 其强度取决于给定薄片中的 H_2O 和 CO_2 的含量。计算 H_2O 和 CO_2 吸光度采用基线法。 H_2O 和 CO_2 的相对吸光度 A_1 和 A_2 分别为

$$A_1 = \frac{\log \frac{I_0}{I}(H_2O)}{\log \frac{I_0}{I}(CT)}$$

$$A_2 = \frac{\log \frac{I_0}{I}(CO_2)}{\log \frac{I_0}{I}(CT)}$$

将已知不含金和含金量不同的石英进行红外光谱测定, 确定其含金量与 A_1 和 A_2 值之间的关系, 以此作为未知石英脉样品含金性的评价指标。

4. 已知金矿床中石英包裹体 A_2 、 A_1 值变化范围及其相关性

对7个矿区的74个石英包裹体薄片作了红外光谱分析, 不同矿区石英包裹体中 CO_2 和 H_2O 的吸光度特征如下。

(1) 石英包裹体中 CO_2 吸光度 A_2 的变

● 样品, ● 内标。

化范围：就所测试的74个样品总体而言， A_2 值变化范围为0.1~1.0，其中大多数样品的 A_2 值在0.15~0.4之间。但在各矿区有明显差异。如三家店矿床 A_2 值为0.11~0.38，平均0.22；金厂峪和峪耳崖金矿床 A_2 值在0.12~0.40之间，平均0.29；土岭—石湖金矿床 A_2 为0.17~0.61，平均值0.31；延边火山岩型金矿床 A_2 值为0.08~0.27，平均

值为0.20；招掖金矿床 A_2 为0.35~1.0，平均值为0.65。不同矿区 A_2 的平均值和变化范围不同，表明其金矿床形成时成矿溶液中 CO_2 的含量是不同的。如将7个矿区的 A_2 值与对应的金含量作图无明显规律可循。但就单个矿床而言， A_2 值与Au含量则有显著的相关关系（图1--I）。

由图1-I可以看出，各矿区石英包裹体

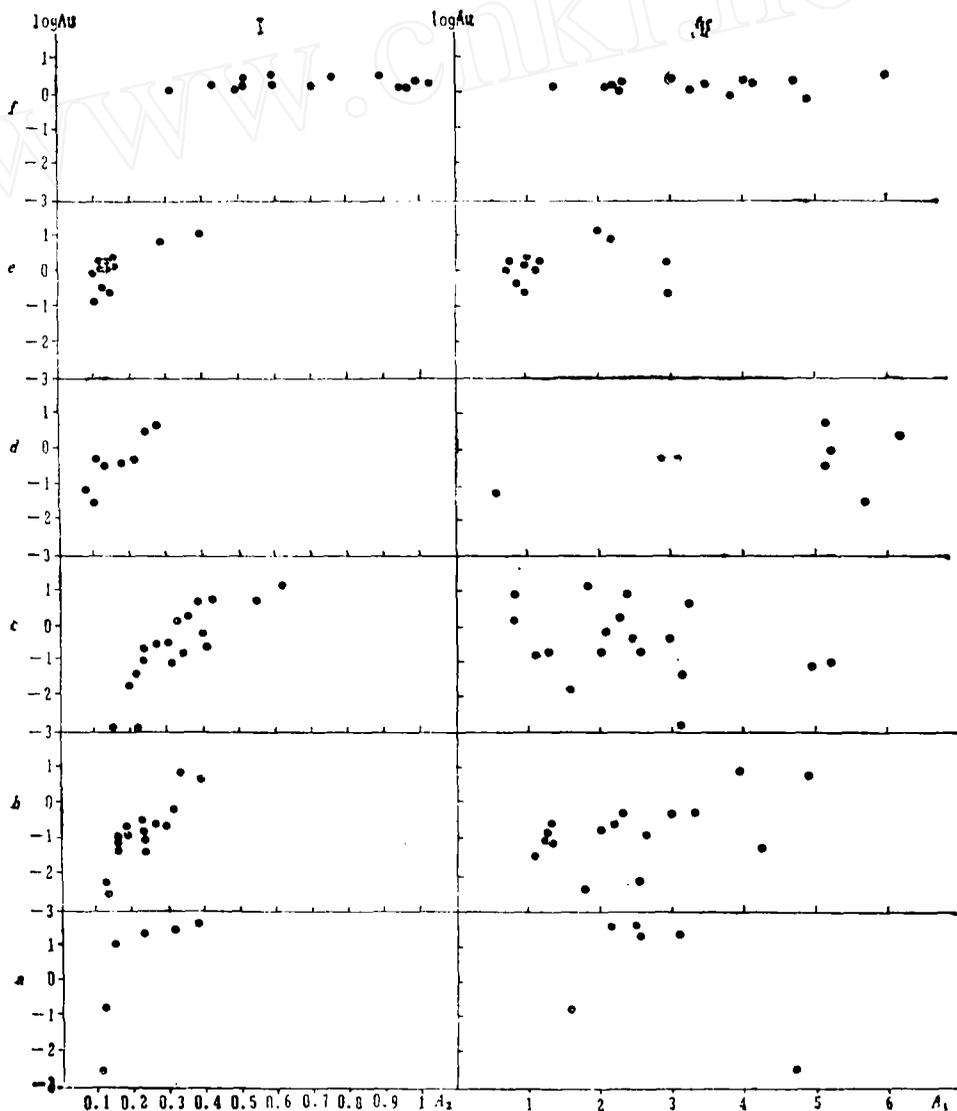


图 1 不同矿床 A_2 与金含量 (I) 和 A_1 与金含量(II)相关图

a—三家店金矿床；b—金厂峪、峪耳崖金矿床；c—土岭—石湖金矿床；d—延边地区火山—火
山岩型金矿床；e—延边海沟金矿床；f—招掖金矿床

中CO₂的吸光度A₂与其金含量多呈正相关关系。其中,三家店矿区相关系数r=0.75,相关线斜率y=0.16+0.005x;金厂峪、峪耳崖金矿床相关系数r=0.66,相关线斜率y=0.19+0.023x;土岭—石湖金矿床相关系数r=0.76,相关线斜率y=0.28+0.03x;延边火山岩型金矿床A₂值较低,与Au含量的相关系数r=0.75,相关线斜率较陡,y=0.12+0.04x;海沟金矿床A₂值绝大多数在0.35以下,但Au的含量却较高,二者的相关系数r=0.95,相关线斜率y=0.11+0.025x;招掖金矿床A₂值较其他金矿床均高,各值之间相差亦大,但Au含量变化不明显,相关斜率甚小。

(2) 包裹体中H₂O的吸光度A₂的变化特征:不同矿区74个石英样品的薄片红外光谱测定结果表明,包裹体中H₂O的吸光度A₁值变化范围较大,在0.6~6.4之间波动,同一矿区的A₁值也有较大变化。其中海沟金矿床A₁值为0.2~2.9,招掖金矿床A₁为1.5~6,多数在2.5~4.5之间;延边火山岩型金矿床A₁值变化范围为0.6~6;说明不同矿床形成时H₂O的含量不同。

将7个矿区74个样品的A₁值与相应样品的logAu值作图,无明显相关性,就单个矿区而言A₁与金含量的关系也不及A₂与Au含量的相关性明显(图1-Ⅰ)。但不同含金度和不同成矿阶段石英的A₁值均有本身固有的特征。三家店矿区成矿早期的无矿石英脉阶段A₁值较低(1.56),对应的Au含量为0.1ppm,在图上落点较低;而成矿阶段的各种样品投点位置均较高,且A₁值变化不大,Au含量也较稳定;成矿后的无矿石英碳酸盐阶段石英的A₁值甚高,达4.75,而金含量仅为0.005ppm。这说明就整个矿床A₁与Au含量无明显的相关关系,但其不同成矿阶段A₁与Au的关系有明显差异。土岭—石湖金矿床各成矿阶段石英的A₁值均在0.5~3之间,而且与Au的含量无明显相

关关系(相关系数为0.19),但成矿后的石英中A₁值均在3以上,说明成矿时石英的A₁值有一定的变化范围。延边火山岩型金矿床中,成矿前石英脉的A₁值小于0.5;在成矿阶段A₁值在2.5~6之间,金含量在0.3~1.6ppm。招掖金矿床的石英A₁值普遍偏高,为3~11,但Au含量变化不大。由以上情况可以看出,成矿前石英脉中Au含量低,其A₁值亦低,成矿期以后的石英脉A₁值甚

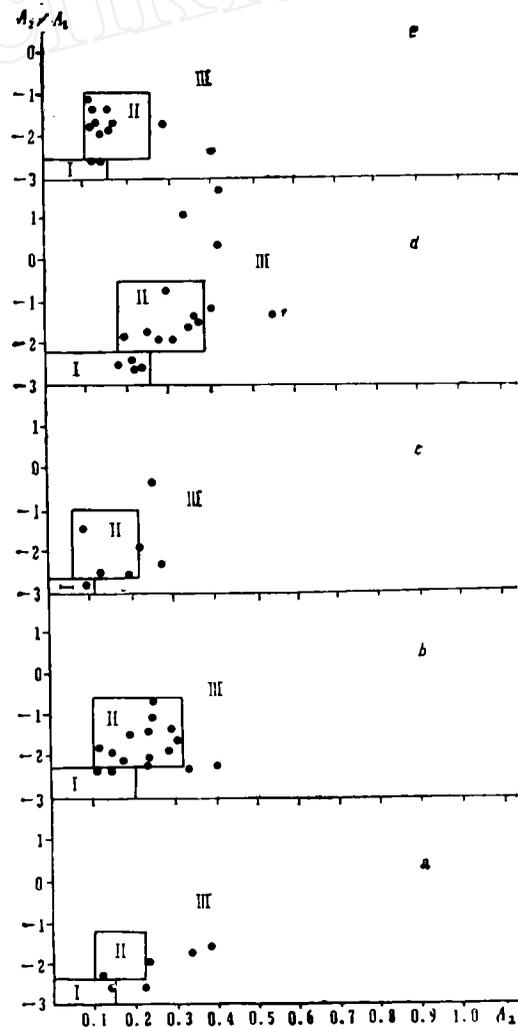


图2 不同矿区A₂/A₁-A₂关系图

a—三家店金矿床; b—峪耳崖、金厂峪金矿床;
c—延边火山岩型金矿床; d—土岭—石湖金矿床; e—延边海沟金矿床; I—不含Au石英脉;
II—弱含Au石英脉; III—强含Au石英脉

高,但Au含量低。这说明成矿热液由早到晚的演化过程中H₂O的浓度有增大趋势,但Au只在一定的阶段沉淀。

(3) A_1 和 A_2 之间的关系:我们作了 A_2/A_1-A_2 的相关关系图(图2)。由图2可以看出, A_2/A_1 比值在0.03~1.0之间,多数在0.1~0.4之间,各矿区具不同的变化区间。三家店矿区 A_2/A_1 比值在0.05~0.15;峪耳崖和金厂峪矿床 A_2/A_1 为0.08~0.2;土岭-石湖金矿床为0.11~0.47;延边火山岩型金矿及海沟金矿 A_2/A_1 比值为0.03~0.7,多数在0.3~0.1之间。由图2还可看出,各矿区的 A_2/A_1-A_2 有大致成正相关的趋势,均能划出一个金的低含量区和金的富集区域。因各矿床的贫金、含金中等程度和富金的内涵有所不同,故具体圈定界线数值有所不同。但一般贫金是指Au含量在0.1ppm以下,富金是指Au在5ppm以上,就总体而言,Au的含量随 A_2/A_1 及 A_2 的增加而增高。

6. 石英脉含金性的红外光谱评价指标

对7个矿区74个石英样品红外光谱的测试结果表明,Au与CO₂的吸光度 A_2 及 A_2/A_1 (H₂O的吸光度)有正相关关系,可以作为石英脉含金性的评价指标,但对不同矿区其具体数值有所不同。三家店金矿:不含金

石英脉, $A_2 < 0.10$, $A_2/A_1 < 0.08$;弱含金石英脉, A_2 为0.10~0.20, A_2/A_1 为0.08~0.18;强含金石英脉, $A_2 > 0.20$, $A_2/A_1 > 0.08$ 。峪耳崖和金厂峪金矿:不含金石英脉, $A_2 < 0.15$, $A_2/A_1 < 0.08$;弱含金石英脉, A_2 0.15~0.32, A_2/A_1 0.1~0.25;强含金石英脉, $A_2 > 0.32$, $A_2/A_1 > 0.08$ 。土岭-石湖金矿床:不含金石英脉, $A_2 < 0.20$, $A_2/A_1 < 0.08$;弱含金石英脉, A_2 0.20~0.35, A_2/A_1 0.10~0.25;强含金石英脉, $A_2 > 0.35$, $A_2/A_1 > 1.5$ 。延边火山岩型金矿床:不含金石英脉, $A_2 < 0.12$, $A_2/A_1 < 0.05$;弱含金石英脉, A_2 0.12~0.22, A_2/A_1 0.05~0.20,强含金石英脉, $A_2 > 0.22$, $A_2/A_1 > 0.08$ 。延边海沟金矿床:不含金石英脉, $A_2 < 0.10$, $A_2/A_1 < 0.05$;弱含金石英脉, A_2 0.10~0.25, A_2/A_1 0.05~0.2;强含金石英脉, $A_2 > 0.25$, $A_2/A_1 > 0.05$ 。

根据各矿区的情况,归纳出一个大致的统一指标:不含金石英脉, $A_2 < 0.10$, $A_2/A_1 < 0.05$ ~0.10;弱含金石英脉, A_2 0.1~0.2, A_2/A_1 0.1~0.2;强含金石英脉, $A_2 > 0.2$, $A_2/A_1 > 0.2$ 。该项试验研究工作是初步的,还有待于进一步深入。

Ore Potential Evaluation of Gold Quartz Veins by Infrared Absorption Spectrometry

Zhu Zhongxiu Hu Suqing Liu Lihua

Compositions of gas-fluid inclusions in quartz veins are able to reflect the properties of the solution produced. Through an investigation of infrared spectra of gas-fluid inclusions in some typical quartz vein type gold deposits, the author suggests that the intensity of characteristic spectra of H₂O and CO₂ in the inclusions can be used as a mark for evaluating the ore potential of gold-bearing quartz veins.