第二节　流体包裹体地球化学

一、概述

矿物中保存的流体包裹体是流体在成矿过程中留下的重要见证物，是成矿作用研究的天然实验室。东昆仑地区的金矿床含有丰富的流体包裹体，尤其是分别位于昆中、昆南和北巴颜喀拉构造带中的五龙沟金矿、开荒北金矿、大场金锑矿和东大滩锑金矿含有不同类型和期次的流体包裹体，成为本次研究的重要内容。对各矿床代表性样品共计 26 件磨制了双面抛光薄片，经在显微镜下先期详细的岩相学观察，而后挑选其中流体包裹体丰富、个体较大和包裹体类型较全的样品进一步显微测温。通过详细的流体包裹体研究，旨在探讨成矿流体的特征、性质、演化及矿床形成的物理化学条件，进而为深入认识本地区金矿床成因及当前在本区开展金矿床普查找矿提供重要理论依据。

为了系统地进行流体包裹体研究，尽量选择各矿床中代表不同形成期次的含热液石英样品进行观察和测试，根据各矿床矿石类型的差异及石英脉发育情况，主要选择了蚀变岩矿石、石英脉矿石、早期白色石英脉和晚期碳酸盐一石英脉等几类样品，这些样品中矿石的金品位均在 3g/t 以上，一些大于 10g/t，主要研究对象为热液石英中的流体包裹体。根据热液石英与硫化物、金矿物等的共生关系，大致可分为三个世代，第一世代为石英碎斑和白色脉石英，石英碎斑具拉长旋转特征，发育于五龙沟金矿、大场金锑矿和东大滩锑金矿中，用于研究的早期脉石英仅产于开荒北金矿，这些样品中往往见有少量晶形好、粒度大的黄铁矿，代表早期韧性剪切之产物；第二世代石英以多金属硫化物一石英脉形式单独产出或呈细脉产于蚀变岩中，石英和硫化物的颗粒均较细，含金较高，应为主成矿期产物；第三世代石英主要产于无矿的方解石一石英细脉中，为成矿后的产物。由于第三世代石英中的流体包裹体很小，多数<4μm，未能找到可供测试的对象，因此本次主要对前两个世代石英中的流体包裹体进行了研究。

二、流体包裹体类型

根据室温下包裹体的物相种类和相比，本区包裹体可分为以下 3 大类：

① 富 CO_2 包裹体：个体较小，一般<8μ，负晶形，孤立状、随机分布，为原生包裹体，室温下常呈两相（Vco_2+Lco_2），该类包裹体含量极少，仅见于五龙沟金矿床，产于早期蚀变糜棱岩中的石英碎斑内；

② CO_2-H_2O 包裹体：4 个矿床中均见及，其中尤以大场金矿床最为发育。包裹体大小差别大，最大的可达 30 μ，最小的<8 μ，本次用于显微测温的该类包裹体多介于 10～16 μ之间，包裹体形态较规则，常呈负晶形状或似圆状，一般随机分布呈孤立状，另亦见有沿愈合微裂隙呈带状分布，它们属原生或假次生包裹体。根据含 CO_2/H_2O 比例不同，可分为富 H_2O 和富 CO_2 两个亚类，以富 H_2O 包裹体为主，前者加热时均一于 H_2O 相，后者加热时则均一于 CO_2 相。按照室温下出现的相数不同，又可分为两相（Vco_2+L_{H_2O}）和三相（Vco_2+Lco_2+L_{H_2O}）包裹体，值得注意的是，有的室温下呈两相的包裹体在缓慢降温时又出现另一个 CO_2 相而变成三相包裹体，该类包裹体常与 H_2O-NaCl 型包裹体共生，在室温下 Vco_2 相常有晃动现象。此类包裹体广泛分布于五龙沟金矿、大场金锑矿和东大滩锑金矿中的石英碎斑中，在开荒北金矿，主要产在早期白色脉石英中；

③ H_2O-NaCl 包裹体：广泛发育于各矿床不同世代的石英颗粒中，在早期形成的石英碎斑和高温热液石英中常与 CO_2-H_2O 包裹体共生。包裹体大小为 3～25 μ，多数集中在 6～12 μ之间，常呈负晶形、长条状或不规则状等。另外一些包裹体个体十分细小，沿裂隙呈

长条状分布，有的穿过不同矿物颗粒，属次生流体包裹体。按照气液比，该类包裹体又可分为两相（V_{H_2O}+L_{H_2O}）和单液相 H_2O 包裹体。

除上述 3 种类型的包裹体外，在开荒北金矿还见有极少量含固相的多相包裹体，固相形态不规则，可能为偶然捕获或包裹体形成之后的变化产物。

三、显微测温结果

在显微镜下对各矿床代表性样品中流体包裹体的类型、产状、分布等详细观察基础之上，在经校正的法国产 CHAIXMECA 冷热台上进行显微测温。对 H_2O-NaCl 包裹体要测定冰点（t_{mi}）和气-液相均一温度（T_h）；对 CO_2-H_2O 包裹体要分别测定 CO_2 固相熔化温度（$t_m(CO_2)$）、CO_2 笼形物熔化温度（t_{cl}）、CO_2 气-液相部分均一温度（$t_h(CO_2)$）和 CO_2-H_2O 气液相完全均一温度（T_h），所测得数据用事先对仪器的校正值加以校正。流体成分及有关参数的估算方法是：对于 H_2O-NaCl 包裹体，利用测得的冰点在 Bodnar（1992）有关 NaCl-H_2O 体系盐度与冰点降的参数表中查得对应盐度值，然后再用包裹体的均一温度和盐度数据在 NaCl-H_2O 体系压力-温度-盐度-密度参数表中查得相应密度值。对 CO_2-H_2O 包裹体，首先根据 CO_2 固相熔化温度判定是否含有其它挥发份；利用 CO_2 笼形化合物熔化温度通过 Bozzo et al（1973）给出的温度-盐度关系式计算出水溶液的盐度；根据 CO_2 包裹体的完全均一温度和水溶液的盐度在 NaCl-H_2O 体系参数表中查出相应包裹体水溶液的密度（ρ_{H2O}），用 CO_2 部分均一温度值在 CO_2 气-液相均一时的温度-密度参数表中查得相应的包裹体 CO_2 相密度（ρ_{CO2}），CO_2 包裹体流体的总密度应考虑 CO_2 和 NaCl-H_2O 两部分之和，刘斌等（1999）给出了相应的计算公式：$\rho_{总}=\varphi_{CO2}\cdot\rho_{CO2}+\varphi_{H2O}\cdot\rho_{H2O}$，式中的$\varphi_{CO2}$、$\varphi_{H2O}$ 分别为 CO_2 部分均一时 CO_2 相和 H_2O 相的体积分数，可在显微镜下目估，两者之和为 1，ρ_{CO2} 和ρ_{H2O} 已通过上面的方法获得。此外，我们还应知道 CO_2、CH_4（若含的话）、H_2O 和 NaCl 的摩尔分数 x（CO_2）、x（CH_4）、x（H_2O）和 x（NaCl），x（CO_2）可利用前面已获得的相关参数在选定盐度的 NaCl-CO_2-H_2O 包裹体的 x（CO_2）、φ_{CO2}、T_h和ρ_{CO2}四变量关系图中（Schwartz，1989）内插获得；将已获得的该类包裹体水溶液盐度值代入公式：$x(NaCl)_{aq}=18.0152w/[18.0152w+58.4428(100-w)]$中，即可求得水溶液中 NaCl 的摩尔分数，然后将 $x(NaCl)_{aq}$代入公式：$x(NaCl)=x(NaCl)_{aq}[1-x(CO_2)]$中，从而求得 CO_2 包裹体中 NaCl 的总摩尔分数；x（H_2O）由公式 $x(H_2O)=1-x(NaCl)-x(CO_2)$ 计算得到；x（CH_4）可根据 CO_2-CH_4 体系中 CO_2 固相熔化温度及在此温度下的液相充填度关系图中查得，也可用刘斌等（1999）给出的公式计算而来，然后再将其从 x（CO_2）中扣除。CO_2 包裹体完全均一时的压力可以根据 Schwartz（1989）提供的 NaCl-CO_2-H_2O 包裹体的 x（CO_2）、φ_{CO2}和 P_h 关系图解，运用前面已获得的有关参数，用内插法获得，亦可根据该类包裹体的 T_h 值、流体总密度（$\rho_{总}$）、CO_2 摩尔分数 x（CO_2）和水溶液盐度，利用 Browers & Helgeson（1983a，1983b）有关 NaCl-CO_2-H_2O 体系的状态方程估算包裹体形成时的流体压力。

对各矿床热液石英中的液体包裹体、CO_2-H_2O 包裹体和富 CO_2 包裹体（仅为五龙沟金矿）进行了显微测温研究，并对 CO_2-H_2O 型包裹体进行了详细的特征参数计算，其结果分别列于表 3-9 和表 3-10 中。将上述包裹体显微测温结果分别作出 NaCl-H_2O 包裹体冰点及 CO_2-H_2O 包裹体的固相初熔温度、CO_2 笼形物熔化温度、CO_2 相均一温度和完全均一温度直方图（图 3-3）。从中可以看出：

五龙沟金矿床 NaCl-H_2O 包裹体的冰点为-4.4～-0.5℃，集中于-2～-4℃，相应的盐度介于 0.88～7.02*wt*%NaCl 之间，均一温度 T_h 为 186～390℃，可分为 1 个低温峰（180～190℃）、1 个中温峰（240～260℃）和 1 个高温峰（280～370℃），高温峰中又可分出 2 个亚峰，流