大场金锑矿床中含有最为丰富的流体包裹体，特别是含有大量的三相 CO_2-H_2O 包裹体，寄主于石英碎斑中，初熔温度 t_m (CO_2) 为-58.4～-57.0℃，低于 CO_2 的三相点温度。t_{cl} 为 4.7～8.7℃，集中于 7～9℃之间，盐度为 2.62～9.54 *wt*%NaCl。除少数部分均一到 V_{CO_2} 外，大部分都均一到 L_{CO_2}，t_h (CO_2) 为 14.8～28.8℃，集中于 24～29℃。其它换算而来的参数为：ρ_{CO_2} 为 0.157～0.723g·cm^{-3}，ρ_{H_2O} 0.729～0.883 g·cm^{-3}，$\rho_{总}$ 0.655～0.834 g·cm^{-3}，x (CO_2) 为 0.04～0.60，x (CH_4) 0.01～0.14，x (H_2O) 0.287～0.923，x (NaCl) 0.003～0.021。T_h 为 214～315℃，其中均一到液相的富 H_2O 三相包裹体的均一温度为 214～315℃，均一到气相的富 CO_2 三相包裹体的均一温度为 268～309℃，可见两组均一温度值基本一致。NaCl-H_2O 包裹体的 t_{mi} 为-6.2～-1.4℃，共有 3 个主峰，分别为-1～-2℃，-2.5～-4℃和-4.5～-6℃，盐度为 2.41～9.47 *wt*%NaCl，均一温度介于 118～275℃之间，其高温段（210～270℃）与三相 CO_2-H_2O 包裹体的均一温度相当，流体密度为 0.81～1.0g/cm^3。

东大滩锑金矿床的 CO_2 包裹体亦为三相 CO_2-H_2O 包裹体，t_m (CO_2) 比较集中，为-58.0～-57.6℃，也低于 CO_2 的三相点温度（-56.6℃），t_{cl} 为 6.4～8.3℃，盐度为 3.38～6.81 *wt*%NaCl，t_h (CO_2) 集中于 28.0～29.4℃，绝大多数部分均一到 L_{CO_2}，该类包裹体之均一温度为本矿区最高且分布较为集中，为 282～329℃，仅测得一个点（282℃）均一到 CO_2 气相，其余皆均一到 H_2O 溶液，换算得的相关参数为：ρ_{CO_2} 0.290～0.653g·cm^{-3}，ρ_{H_2O} 0.708～0.806 g·cm^{-3}，$\rho_{总}$ 0.549～0.748 g·cm^{-3}，x (CO_2) 为 0.06～0.32，x (CH_4) 0.01～0.06，x (H_2O) 0.607～0.901，x (NaCl) 0.009～0.020。NaCl-H_2O 包裹体的 t_{mi} 为-5.6～-1.4℃，主要集中在-5.5～-3.5℃之间，盐度为 2.41～8.68 *wt*%NaCl，均一温度明显可分为 2 个峰，即 150～200℃和 260～300℃，后者高温段与三相 CO_2-H_2O 包裹体的均一温度低温段相一致，流体密度为 0.79～0.97 g/cm^3。

四、结果讨论

（一）流体组成

根据上述显微测温结果可以看出，该区金（锑）矿床成矿流体主要成分为 CO_2 和 NaCl-H_2O，此外还含有很少量的 CH_4。含 CO_2 包裹体主要赋存于石英碎斑和早期白色石英中，主成矿期热液石英和晚期灰色石英脉中产有大量 H_2O 包裹体，反映从早到晚流体成分的变化。

运用含 CO_2 包裹体的初熔温度可大致估计流体的成分。一方面，该地区 4 个矿床中 CO_2-H_2O 包裹体的初熔温度均低于纯 CO_2 的三相点温度，介于-58.8～-57.0℃之间，而在五龙沟金矿中发现的富 CO_2 包裹体的初熔温度为-59.4～-58.8℃，也小于 CO_2 的三相点温度，可见，除 CO_2 外其中还含有 CH_4 等挥发分；另一方面，由于这些含 CO_2 包裹体的初熔温度都小于-60℃，其中五龙沟金矿为-59.4～-57.9℃，开荒北金矿为-57.8～-57.7℃，大场金锑矿为-58.4～-57.0℃，东大滩锑金矿为-58.0～-57.6℃，说明仅含有很少量的 CH_4 等组份。此外，各矿床 CO_2 笼形物熔化温度均小于 CO_2 部分均一温度也从另一侧面暗示 CH_4 等的含量较低。计算得出的 CO_2 摩尔分数 x (CO_2) 为 4～60mol%，其中开荒北金矿为 52～58mol%，大场金锑矿为 4～60mol%，东大滩锑金矿为 6～32mol%。CH_4 的摩尔分数为 1～16mol%，大多数集中在 1～5mol%之间，其中五龙沟金矿为 2～16mol%，开荒北金矿为 2～5mol%，大场金锑矿为 1～14mol%，东大滩锑金矿为 1～6mol%。流体包裹体的盐度总体较低，介于 0.35～9.54 *wt*%NaCl 之间，集中在 3～8 *wt*%NaCl，单个矿床中液体包裹体的盐度均大于含 CO_2 包裹体，此外，相对于含 CO_2 包裹体来说，液体包裹体的盐度变化范围较大。其它参数特征详见表 3-9、表 3-10。

另据李厚民等对五龙沟、开荒北和东大滩矿床所做的激光拉曼探针分析结果（表 3-11），包裹体成分主要为 CO_2 和 H_2O，CO_2 在包裹体气相和液相中的含量均较高，分别为 41.9～76.4mol%和 36.7～61.8 *wt*%，而 H_2O 仅存在于液相中，为 12.7～32.5 *wt*%。此外，在包裹体

气相和液相中均含有不等量的 CH_4、H_2S、SO_2 等，气相中还含有 N_2 和 C_2H_6，但含量极少，此与显微测温资料相一致，总体为低盐度的 H_2O-CO_2-NaCl-CH_4±N_2 体系。

表 3-11　东昆仑地区金（锑）矿床单个包裹体激光拉曼探针分析结果

样　号	地质产状	气相/mol%						液相/wt%				
		CO_2	N_2	H_2S	CH_4	C_2H_6	SO_2	H_2O	CO_2	H_2S	CH_4	SO_2
WK176	五龙沟金矿黄铁绢英岩矿石	62.9	9.3		11.9		15.9	25.8	41.6	14.1	10.0	8.5
KK2	开荒北金矿石英脉矿石	66.8	8.4	11.1	11.5	2.2		12.7	61.8	6.5	7.3	11.7
CKK3	开荒北金矿石英脉矿石	65.2		6.8	11.3		16.7	18.8	53.4	18.6	9.2	
CD8	东大滩锑金矿辉锑矿-石英脉矿石	41.9		19.6	26.2	12.3		32.5	36.7	7.0	13.9	9.9
CD14	东大滩锑金矿辉锑矿-石英脉矿石	76.4		7.8	12.1	3.7		27.4	45.0	8.2	3.5	15.9

盐水溶液相（mol/L）

样　号	地质产状	SO_4^{2-}	HS^-	HCO_3^-	CO_3^{2-}	Cl^-
WK176	五龙沟金矿黄铁绢英岩矿石		0.05			1.72
KK2	开荒北金矿石英脉矿石				0.12	1.20
CKK3	开荒北金矿石英脉矿石	0.03	0.07	0.26	0.01	1.04
CD8	东大滩锑金矿辉锑矿-石英脉矿石			0.28	0.11	
CD14	东大滩锑金矿辉锑矿-石英脉矿石			0.32	0.04	1.47

注：引自李厚民等（1998）内部资料，分析者：国土资源部西安地质矿产研究所唐南安

（二）流体不混溶性

近年大量研究结果表明（So et al., 1997；Jiang Neng et al., 1999），中温深成热液金矿床中常出现原生液体包裹体、CO_2-H_2O 包裹体和富 CO_2 包裹体紧密共存于同一寄主矿物中（如石英），因而，液体包裹体和富 CO_2 包裹体通常被认为是从原始均一单相的 CO_2-H_2O 流体中由不混溶作用选择性捕获而来的，分别代表两个端元组分，而内含较大变化范围 CO_2 的 CO_2-H_2O 包裹体则为上述两端元混合捕获的结果。根据上述对东昆仑地区金矿床热液石英中的流体包裹体岩相学及显微测温研究结果，可以清楚地看出本区金矿床成矿流体具有明显的不混溶特征，主要证据有：（a）各个矿床中均可见到 CO_2 含量变化较大（体积分数变化于 10%～95%）的 CO_2-H_2O 包裹体紧密共存在同一石英颗粒中；（b）显微测温结果显示，对于 CO_2-H_2O 包裹体不管是均一到 CO_2 气相还是均一到液相，它们都有大致相同的均一温度范围，表明它们是同时捕获的。如在大场金锑矿床，均一到液相的富 H_2O 三相包裹体的均一温度为 214～315℃，均一到气相的富 CO_2 三相包裹体的均一温度为 268～309℃，两者十分接近；东大滩锑金矿 1 个均一到 CO_2 气相包裹体均一温度（282℃）也接近于均一到液相的包裹体（296～329℃）；在五龙沟金矿，富 CO_2 包裹体中的 H_2O 倾向于粘附在包裹体壁上，所以独立的 H_2O 相不可见，又加之包裹体边缘的内部反射，我们未能测得其均一温度，其为本区 CO_2-H_2O 包裹体的富 CO_2 端元，应与 CO_2-H_2O 包裹体有大致相同的均一温度。另外，从均一温度直方图中可以看出，CO_2-H_2O 包裹体的均一温度普遍略高于 H_2O 包裹体，这也符合流体不混溶性，因为 CO_2-H_2O 包裹体代表着两个端元之混合物，应该有较高的均一温度。

综合上述，流体不混溶性是本区金矿床中不同类型包裹体形成的最好解释。

（三）流体捕获的温压条件

一般认为，从均匀流体中捕获的包裹体，其均一温度和均一时的压力仅代表其形成的

温度和压力下限，而从不混溶流体中捕获的包裹体，其均一温度和均一压力即为其形成时的温度和压力，无需温度、压力校正。如前所述，该地区金矿床石英中的富 CO_2 包裹体和富 H_2O 包裹体是从不混溶流体中捕获的，因此可以利用它们的均一温度和均一压力来估算成矿时的温度和压力。这四个金矿床流体捕获温度介于 118～378℃之间，各矿床又有所不同，五龙沟金矿为 186～378℃，开荒北金矿 143～360℃，大场金锑矿 118～315℃，东大滩锑金矿 144～329℃。总体上，自五龙沟、开荒北到大场和东大滩流体的温度有下降趋势，亦反映成矿深度由深变浅。基于前述估算的流体捕获温度和流体成分，利用 H_2O-CO_2-NaCl 体系的 P-T-X 不混溶曲线进行压力估算，为 100～160Mpa（图 3-4）。

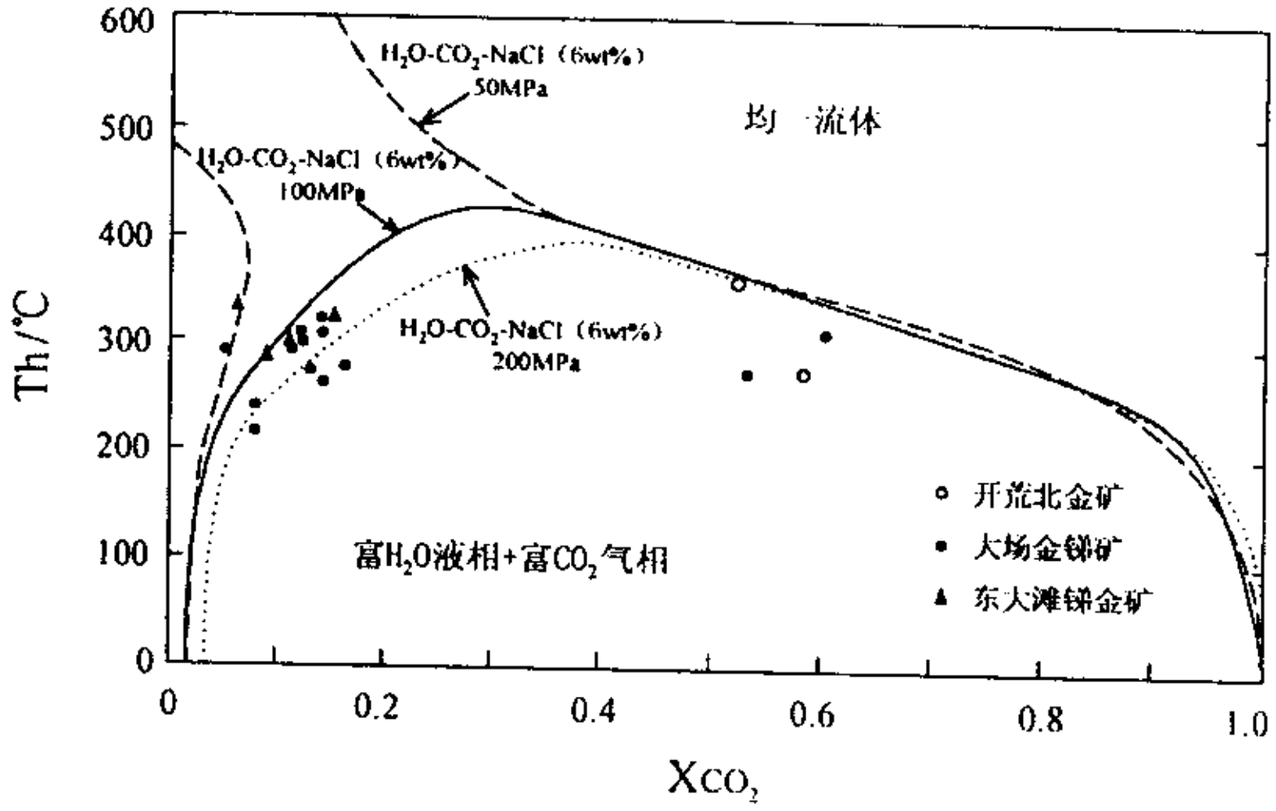


图 3-4　CO_2-H_2O 包裹体在 H_2O-CO_2-NaCl 体系 T_h－Xco_2 相图上的分布

（四）流体的来源和演化

在东昆仑地区，自元古代以来发生过多次构造活动，尤其是加里东期和晚华力西-印支期强烈的俯冲碰撞造山过程不仅产生丰富的构造现象、变质作用，而且带来了极为丰富的地质流体，成为本地区金属矿产形成的重要载体。在五龙沟矿区，区域上有一套早元古代变质岩，加里东期的二长花岗岩为矿床的直接容矿围岩，它们皆遭受加里东期和印支期强烈的变质变形作用，我们测得该矿床黄铁绢英岩化糜棱岩型金矿石的绢云母 Ar-Ar 法年龄为 236.5Ma，流体包裹体岩相学和显微测温结果表明，富 CO_2 与 CO_2-H_2O 包裹体主要产在绢英岩化蚀变糜棱岩中的石英碎斑中。开荒北金矿中的 CO_2-H_2O 包裹体赋存于早期白色石英脉中，而大场和东大滩矿床中的 CO_2-H_2O 包裹体也产于早期形成的石英碎斑之中，同位素测年结果表明它们皆为印支期俯冲碰撞造山的产物。由此可见，该区金矿床早期主要为一套 CO_2-H_2O 流体，形成于地下较深的韧性剪切变形时期，可能为变质水或因构造挤压形成的地层建造水。主成矿期为较高温度和盐度的 H_2O-NaCl 流体，其是由早期富含成矿物质的 CO_2-H_2O 流体经不混溶作用演化而来的，形成于构造变形由韧性向韧-脆性和脆性转变的地质环境，一方面由于成矿流体从相对高压环境进入开放的低压环境而使 CO_2 等挥发分的溶解度大幅降低，另一方面大气降水的不断混入导致明显的不混溶即相分离作用发生。此外，在方解石-石英脉中见有一些液体包裹体，个体细小，均一温度较低且多为次生包裹体，可能为晚期大气降水与成矿残液进一步混合、冷却和稀释时捕获的结果。