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

表 3-9　东昆仑地区金矿床流体包裹体特征及显微测温结果

矿床	样号	主矿物	包裹体类型	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相均一温度/ t_h（CO_2），℃	冰点/ t_{mi}，℃	气液相均一温度/T_h，℃	流体盐度/*wt*%NaCl	流体密度/g·cm^{-3}
五龙沟	Shg-1	石英	$V_{H_2O}+L_{H_2O}$				−3.9～−0.5	272～390	0.88～6.30	0.56～0.82
		石英碎斑	$V_{CO_2}+L_{H_2O}$	−58.8～−57.9	+6.9～+8.9			260～378	2.23～5.94	
			$V_{H_2O}+L_{H_2O}$				−4.4～−3.6	242～266	5.86～7.02	0.83～0.87
	Sh-5-4	石英碎斑	$V_{CO_2}+L_{CO_2}$	−59.4～−58.8		18.4(L)、26.2(V)				
			$V_{H_2O}+L_{H_2O}$				−3.4～−1.9	186～282	3.23～5.56	0.79～0.91
	Sh-21	石英	$V_{H_2O}+L_{H_2O}$				−3.8～−1.5	241～376	2.57～6.16	0.62～0.90
开荒北	Kh-1	早期石英	$V_{CO_2}+L_{CO_2}+L_{H_2O}$	−57.8、−57.7	+5.7、+7.2	27.8(V)、28.6(L)		360、272	5.41～7.97	0.54～0.69
	Kh-5	脉石英	$V_{H_2O}+L_{H_2O}$				−6.0～−0.2	143～259	0.35～9.21	0.86～0.97
大场	Dc-3	石英碎斑	$V_{CO_2}+L_{CO_2}+L_{H_2O}$	−58.4～−57.7	+7.0～+8.7	14.8 (V) 23.6～28.3 (L)		198～276	2.62～5.77	0.79～0.83
		石英	$V_{H_2O}+L_{H_2O}$				−6.2～−1.4	118～275	2.41～9.47	0.81～1.00
		石英碎斑	$V_{CO_2}+L_{CO_2}+L_{H_2O}$	−58.4～−57.0	+4.7～+8.4	27.8～28.8 (V) 25.6～28.3 (L)		236～315	3.19～9.54	0.66～0.75
			$V_{H_2O}+L_{H_2O}$				−5.6～−3.9	198～270	6.30～8.68	0.81～0.94
东大滩	Ddt-44	石英碎斑	$V_{CO_2}+L_{CO_2}+L_{H_2O}$	−58.0～−57.6	+6.4～+8.3	28.4 (V) 28.0～29.4 (L)		282～329	3.38～6.81	0.55～0.75
			$V_{H_2O}+L_{H_2O}$				−5.0～−1.4	157～299	2.41～7.86	0.79～0.95
	Ddt-45	石英	$V_{H_2O}+L_{H_2O}$				−5.6～−2.8	144～213	4.65～8.68	0.91～0.97

注：以上数据是在经校正的法国产 CHAIXMECA（MTM85）型显微冷热台上测得，温度范围：−180～+600℃

表 3-10　青海东昆仑地区金矿床 CO_2-H_2O 型包裹体特征参数

矿床	$t_m(CO_2)$ /℃	t_{cl} /℃	$t_h(CO_2)$ /℃	T_h(total) /℃	盐度/ wt%Nacl	ρ/（g·cm^{-3}）			φ/%		$x(CO_2)$	$x(CH_4)$	$x(H_2O)$	x(NaCl)	P Mpa
						CO_2	H_2O	总	CO_2	H_2O					
五龙沟	-57.9			319					25	75					
	-58.0	6.9		333	5.94		0.716		30	70					
	-58.8	8.9		301	2.23		0.735		25	75					
	-58.2	7.2		260	5.41		0.834		20	80					
	-58.7	7.9		263	4.14		0.817		30	70					
	-58.5			326					50	50					
	-57.9			378					40	60					
	-59.4		18.4(L)			0.782			10	90					
	-58.8		26.6(V)			0.261			80	20					
开荒北	-57.8	5.7	27.8(V)	360(V)	7.97	0.279	0.714	0.540	40	60	0.52	0.02	0.467	0.013	~35
	-57.7	7.2	28.6(L)	272(V)	5.41	0.640	0.817	0.693	70	30	0.58	0.05	0.413	0.007	~100
大场	-57.9	7.0	24.1	276	5.77	0.719	0.815	0.791	25	75	0.16	0.02	0.804	0.016	~80
	-58.1		14.8(V)	268(V)		0.157			95	5	0.53	0.14			~30
	-58.3		23.6	259		0.723			30	70	0.14	0.04			~100
	-58.4	7.8	26.1	214	4.32	0.686	0.883	0.834	25	75	0.08	0.04	0.867	0.013	~80
	-57.7	8.1	26.0	239	3.76	0.688	0.848	0.800	30	70	0.08	0.02	0.889	0.011	~70
	-57.7	7.2	27.8(V)	272	5.41	0.279	0.816	0.655	30	70	0.04	0.02	0.923	0.017	~35
	-58.0		27.1	236		0.670			45	55	0.08	0.03			~70
	-58.0	4.7	28.8(V)	290	9.54	0.296	0.830	0.697	25	75	0.05	0.02	0.900	0.030	~30
	-58.4	8.4	25.6	309(V)	3.19	0.692	0.729	0.711	75	25	0.60	0.11	0.287	0.003	~90
	-58.0	7.3	26.3	303	5.23	0.683	0.764	0.740	30	70	0.12	0.02	0.845	0.015	<110
	-57.3	6.0	26.5	315	7.48	0.681	0.768	0.738	35	65	0.14	0.01	0.829	0.021	~100
	-57.8	7.6	26.3	292	4.69	0.683	0.778	0.750	30	70	0.11	0.02	0.857	0.013	~100
	-57.0	8.1			3.76				30	70				0.012	
	-57.9	8.0	28.3	297	3.95	0.647	0.762	0.728	30	70	0.12	0.02	0.849	0.011	<120
东大滩	-57.7	6.4	29.2	298	6.81	0.624	0.790	0.740	30	70	0.11	0.02	0.850	0.020	~90
	-57.8	7.1	28.0	296	5.59	0.653	0.780	0.748	25	75	0.11	0.02	0.854	0.016	~100
	-57.8	6.8	28.4(V)	329	6.12	0.290	0.721	0.549	40	60	0.06	0.02	0.901	0.019	~30
	-58.0	7.3	28.5		5.23	0.643			45	55		0.03		0.017	
	-57.9	7.0	29.4	282(V)	5.77	0.618	0.806	0.674	70	30	0.32	0.06	0.607	0.013	~60
	-57.6	8.3	28.4	320	3.38	0.645	0.708	0.686	35	65	0.15	0.01	0.831	0.009	<80

注：除注明部分均一、完全均一到气相（V）或液相（L）外，其余皆均一到液相

体密度介于 0.56～0.91g/cm^3 之间。CO_2-H_2O 包裹体主要呈两相（V_{CO_2}+L_{H_2O}），初熔温度为-58.8～-57.9℃，低于纯 CO_2 的三相点温度-56.6℃，表明其中有少量的 CH_4 和/或 N_2 存在，CO_2 笼形物熔化温度（t_{cl}）为 6.9～8.9℃，换算而得的包裹体水溶液盐度为 2.23～5.94 *wt*%NaCl，所测该类包裹体的均一温度 T_h 为 260～378℃。2 个富 CO_2 包裹体的初熔温度分别为-59.4℃和-58.8℃，也低于纯 CO_2 的三相点温度，反映含有 CH_4 等挥发分，部分均一温度分别为 18.4℃（均一到 L_{CO_2}）和 26.2℃（均一到 V_{CO_2}）。

开荒北金矿床所测 NaCl-H_2O 包裹体主要寄主于主成矿期多金属硫化物石英脉中，冰点范围较宽（-6.0～-0.2℃），有两个主峰即-5.5～-4℃和-0.5～0℃，盐度为 0.35～9.21 *wt*%NaCl，均一温度为 143～259℃，自低温到高温亦有 3 个次峰，显示出多阶段成矿之特征，流体密度为 0.86～0.97g/cm^3。仅在一个样品早期白色石英脉中发现了 2 个个体较大的三相（V_{CO_2}+L_{CO_2}+ L_{H_2O} ）CO_2-H_2O 包裹体，它们十分特殊，一个为富 H_2O 三相包裹体，另一个为富 CO_2 三相包裹体，且前者的 L_{CO_2} 相较小（部分均一到 V_{CO_2}），而后者的 L_{CO_2} 相相对较大（部分均一到 L_{CO_2}）。$t_{m\,(CO_2)}$ 分别为-57.8 和-57.7℃，t_{cl} 为 5.7 和 7.2℃，测得的完全均一温度分别为 360℃和 272℃，都均一到气相，流体盐度为 7.97 和 5.41 *wt*%NaCl，密度为 0.540 和 0.693g/cm^3，此两个富 H_2O 和富 CO_2 的三相包裹体紧密共生在同一个石英颗粒中。

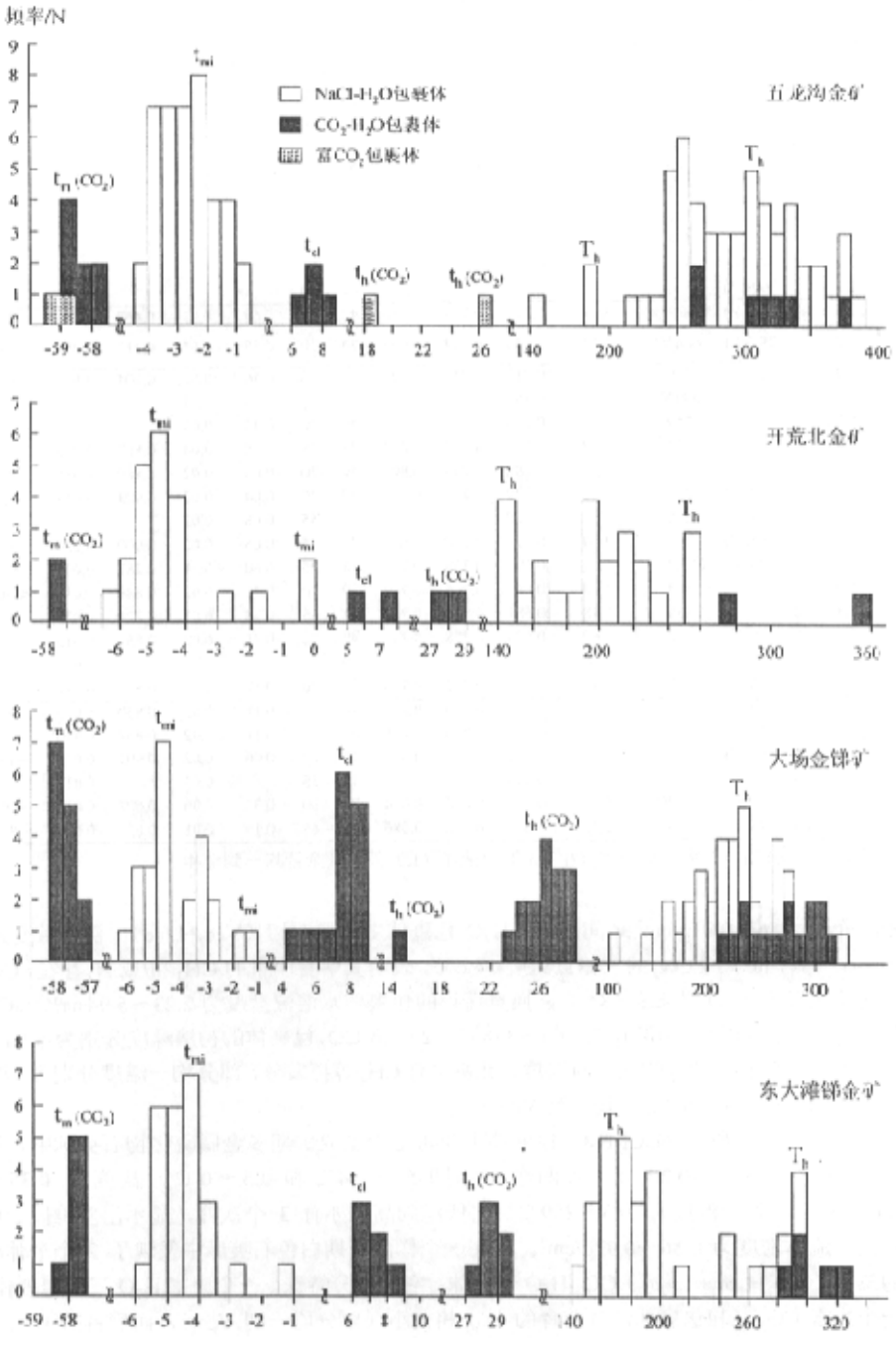


图 3-3　东昆仑地区金矿床流体包裹体显微测温结果直方图

$t_m(CO_2)$—CO_2 固相初熔温度；t_{mi}—冰点；t_{cl}—CO_2 笼形物熔化温度；

$t_h(CO_2)$—CO_2 部分均一温度；T_h—完全均一温度

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