

# 庐山星子群变质流体的包裹体研究<sup>\*</sup>

唐红峰<sup>1</sup> 刘丛强<sup>1</sup> 倪培<sup>2</sup>

1. (中国科学院地球化学研究所 贵阳 550002)

2. (南京大学成矿作用国家重点实验室 南京 210093)

**提 要** 庐山星子群沉积变质岩中发育平行区域片理的石英脉和长英质脉体, 这些脉体的石英晶体富含原生的流体包裹体, 包括低盐度的含液体 CO<sub>2</sub> 包裹体、液体包裹体、纯 CO<sub>2</sub> 包裹体和高盐度含子矿物包裹体。它们与中生代伟晶岩脉体中包裹体在均一温度、盐度和 CO<sub>2</sub> 密度等方面的明显差异和变质脉体中含液体 CO<sub>2</sub> 包裹体的等容线位置, 表明变质脉体石英中的流体包裹体是在变质作用期间被捕获的部分变质流体, 进一步证实了脉体是与变质作用同期形成的。庐山星子群变质流体属于低盐度的 H<sub>2</sub>O—CO<sub>2</sub>—NaCl 和 H<sub>2</sub>O—NaCl 体系, 高盐度的卤水和纯 CO<sub>2</sub> 体系的包裹体很可能是流体在运移过程中发生相分离的结果。

**键 词** 变质流体 流体包裹体 星子群 庐山

变质过程中岩石发生脱挥发分作用 (devolatilization), 形成以 H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 为主的流体相, 即严格意义上的变质流体<sup>[1]</sup>。它可以参与变质作用并对变质反应温度有明显的缓冲作用<sup>[2]</sup>, 一部分以包裹体形式封存在变质矿物内。更重要的是, 当有较多变质流体形成时, 由于静水压力的增大, 流体将向周围岩石发生一定的迁移, 形成与变质作用同期的脉体 (synmetamorphic veins)<sup>[3-5]</sup>, 它们是很好的研究变质流体性质和演化<sup>[1, 6]</sup>、变质作用过程中物质迁移<sup>[7]</sup> 的对象。鉴于这些脉体是流体的直接产物, 矿物晶体内富含各种流体包裹体, 使得包裹体方法成为探讨上述问题的重要途径<sup>[8]</sup>, 并由流体包裹体研究结果讨论脉体成因及其形成条件<sup>[9]</sup>。

庐山星子群是江南古陆上最古老的基底岩石<sup>[9]</sup>, 发生了角闪岩相的区域变质作用<sup>[10]</sup>, 该变质岩中发育规模不等的平行片理的石英脉和长英质脉体, 它们是变质流体的直接产物。本文选择出露于栖贤寺和黄岩寺两地星子群中的同变质期脉体 (其区域地质背景、采样位置和样品情况已在另文详述<sup>[11]</sup>), 进行流体包裹体的初步研究, 查明

脉体中流体包裹体的组成和捕获条件, 以进一步阐明脉体成因和星子群变质流体性质。

## 1 包裹体岩相学

同变质期的石英脉体中, 除含很少量的白云母 (< 5vol. %) 外, 几乎全部由石英组成, 石英的粒径在 1.0~2.0mm 之间, 最大可达 3.0mm。石英脉发育于以变粒岩为其主要变质围岩的地点 (如栖贤寺)。长英质脉体的围岩主要为泥质片岩, 其矿物组成以斜长石和石英为主, 含少量的白云母 (< 10vol. %), 个别脉体的边缘发育石榴石 (样品 34-4), 斜长石和石英的粒径均在 1.0~1.6mm 范围内。在全部观察的样品中, 除样品 34-1 的矿物颗粒表现出受到轻微应力变形的现象外, 其它脉体的矿物均保存了它们结晶时的原貌。

由包裹体片的显微镜下观察显示, 流体包裹体大量发育于每个样品的石英晶体内部, 而斜长石因其透明度较差和解理发育, 难以见到流体包裹体, 即使有所发育, 也很细小, 很难进行测定。石英中的流体包裹体主要有二种产出状态: 一是呈孤立状分布于石英晶体内部, 包裹体大小变化较大, 多数集中在 15~25 $\mu$ m 之间 (图 1a, 1b, 1d); 二是以包裹体群分布于石英晶体内部, 包裹体大小较为接近, 在 20 $\mu$ m 左右 (图 1c)。呈这两种产状的包裹体都是石英从流体中沉淀时捕获的原生包裹体, 部分包裹体呈石英负晶形产出为此提供了佐证。此外, 在部分石英颗粒之间的接触带, 可见呈

ISSN 1000-4734 2000年1月收稿 2000年4月改回

第一作者简介 唐红峰 1963年生 博士 从事岩石学和地球化学研究

\* 国家杰出青年科学基金 (批准号: 49625304) 和科技部攀登计划预选项目 (批准号: 95-预-39) 联合资助

线状分布的细小包裹体( $< 5\mu\text{m}$ )(图 1b),它们属于次生包裹体,测定时不予考虑。按照物理状态分类,所研究的流体包裹体主要有三类:①含液体  $\text{CO}_2$  包裹体,室温下显示出三个相态,其中  $\text{CO}_2$  以气相和液相并存,两者的体积占整个包裹体体积的 50%以上,另一相即盐水溶液,其体积不足 50%(图 1a);②液体包裹体,气/液比值在 5%~30%之间表明液相占整个包裹体体积的 50%以上(图 1b),最后均一到液相;③纯  $\text{CO}_2$  包裹体,也是气液两相(图 1d),但其外观和在冷热台上的相变与第二类的液体包裹体明显不同。此外,在个别样品(样品 34-1)的石英颗粒中见到含子矿物包裹体(图 1e)。

## 2 冷热台测温

利用南京大学成矿作用国家重点实验室的英

国产 Linkman THMS600 冷热台,对富流体包裹体的石英碎片进行包裹体相变观察和温度测定,石英碎片是从两面抛光的包裹体片中取下来的。

包裹体相转变温度测定项目如下: $\text{CO}_2$  的熔化温度,即三相点温度( $T_m^{\text{CO}_2}$ )、冰点( $T_m^{\text{ice}}$ )、 $\text{CO}_2$  水合物的熔化温度( $T_m^{\text{ch}}$ )、 $\text{CO}_2$  的部分均一温度( $T_h^{\text{CO}_2}$ )和最后均一温度( $T_h$ )。上述测定内容因包裹体相态类型的不同而异(表 1)。相态观察和温度测定过程中,当冷冻到 $-60^\circ\text{C}$ 或 $-110^\circ\text{C}$ 后停止冷冻,仪器自动回温,一直到读取  $T_m^{\text{ice}}$  或  $T_m^{\text{da}}$  的数值为止,此时温度误差在  $\pm 0.2^\circ\text{C}$  以内。对三相或两相  $\text{CO}_2$  包裹体,观察  $\text{CO}_2$  部分均一相变和测定  $T_h^{\text{CO}_2}$  的过程中,升温速率为  $2^\circ\text{C}/\text{min}$ ,误差在  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  以内。测定  $T_h$  时,升温速率为  $5^\circ\text{C}/\text{min}$ ,误差在  $2^\circ\text{C}$  左右。对于  $T_m^{\text{ice}}$ ,  $T_m^{\text{ch}}$  和  $T_h^{\text{CO}_2}$  均利用实验室的冷热台温度校正曲线进行了校正,  $T_m^{\text{CO}_2}$  也利用标准的纯  $\text{CO}_2$  包裹体三相点结果进行了温度校正。

表 1 流体包裹体冷热台测定结果小结

Table 1. Summary of the results for fluid inclusions using heating-freezing stage

样品		包裹体类型	测定数量/个	$T_m^{\text{CO}_2}/^\circ\text{C}$	$T_h^{\text{CO}_2}/^\circ\text{C}$	均一类型	$T_m^{\text{ice}}/^\circ\text{C}$	$T_m^{\text{da}}/^\circ\text{C}$	$T_h/^\circ\text{C}$	盐度(wt. % NaCl)	$\text{CO}_2$ 密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
产地	编号 类型										
栖霞	19-3 Q	A	11	-56.4	24.2~29.3	L		6.9~8.2	265~358	3.7~5.9	0.63~0.73
		B	9				-0.4~-3.4		230~347	0.6~5.6	
	19-6 Q	B	22				-0.3~-4.9		259~305	0.5~7.7	
贤	19-10 Q	A	6	-56.5	27.8~29.5	L		6.4~8.1	289~373	3.9~6.7	0.62~0.67
		B	11				-0.3~-6.7		190~329	0.5~10.1	
寺	19-13 Q	A	9	-56.2	27.0~29.0	L		6.6~8.4	285~402	3.3~6.5	0.64~0.69
		B	12				-0.1~-2.9		203~310	0.1~4.7	
寺	20-2 Q	A	11	-56.1	23.7~29.7	L		6.6~8.6	274~381	2.9~6.3	0.62~0.74
		B	12				-0.4~-4.1		232~261	0.6~6.6	
黄岩	34-1 F	A	3	-56.4	27.6~28.8	L		4.6~5.4	250~318	8.4~9.7	0.65~0.67
		D	9						238~391	31.6~45.1	
岩	34-3 Q	B	15				-0.3~-3.5		267~356	0.5~5.7	
		34-4 F	A	2	-56.4	28.3~29.8	L		未测到	318	
寺	32-2 Q		B	3				-1.1~-8.1		167~325	1.9~11.8
		C	17	-56.6	27.3~29.9	L					0.61~0.68
10	A	A	15	-56.5	25.0~28.2	L		7.5~8.3	239~310	3.5~4.9	0.66~0.72
		B	1				-5.5		273	8.5	
10	B	A	15	-56.5	17.3~27.6	L		4.4~7.6	310~515	4.7~10.0	0.67~0.80
		B	4				-0.8~-2.2		188~376	1.4~3.7	

注: 1. 样品类型: Q—石英脉, F—长英质脉; 2. 包裹体类型: A—含液体  $\text{CO}_2$  包裹体, B—液体包裹体, C—纯  $\text{CO}_2$  包裹体, D—含子矿物包裹体; 3. L 表示  $\text{CO}_2$  均一到液相; 4.  $T_m^{\text{CO}_2}$  为测定包裹体的平均值, 其它温度和相关参数是测定包裹体的变化区间; 5. 编号为 10 的样品是侵入在星子群的中生代伟晶岩脉。

冷热台测定结果小结于表 1, 其中包裹体类型和流体体系在冷热台测定过程中由相转变温度进一步得以确定。由于所有变质脉体样品的不同类型包裹体有各自相近的行为, 因此各种类型包裹体的特征可以归类描述。

### 2.1 含液体 $\text{CO}_2$ 包裹体(类型 A)

所有含液体  $\text{CO}_2$  包裹体的  $T_m^{\text{CO}_2}$  在 $-56.0$ ~ $-56.6^\circ\text{C}$ 之间, 且均很接近  $\text{CO}_2$  的三相点温度( $-56.6^\circ\text{C}$ ), 表明它们的气相几乎全部由  $\text{CO}_2$  组成, 进一步的激光拉曼光谱扫描结果也证实如此。除了极少数  $\text{CO}_2$  为临界均一或向气相均一外, 其

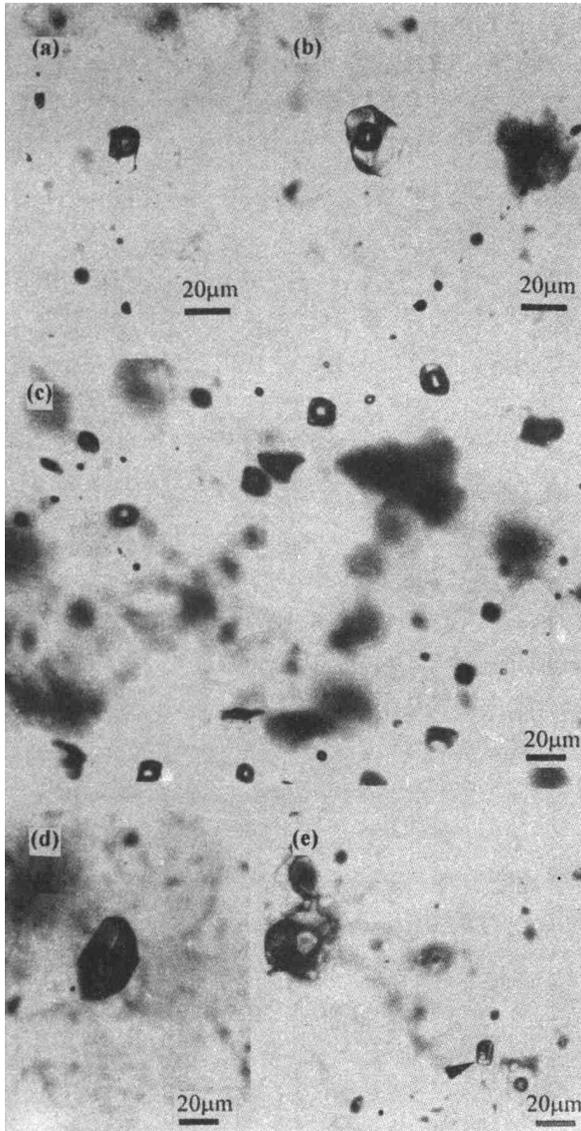


图 1 变质脉体的流体包裹体产状  
Fig. 1. Fluid inclusion occurrences in metamorphic veins.

(a) 孤立状含液体 CO<sub>2</sub> 包裹体(样品 19-10); (b) 孤立状液体包裹体 右下角有线状分布的细小次生包裹体(样品 19-13); (c) 群状分布的原生液体包裹体(样品 20-2); (d) 孤立状纯 CO<sub>2</sub> 包裹体(样品 34-3); (e) 含子晶包裹体(箭头所指, 样品 34-1)

余都是向液相均一, 且  $T_h^{CO_2}$  基本一致, 在 27.0 ~ 30.0 °C 之间(表 1, 图 2a)。CO<sub>2</sub> 水合物熔化温度 ( $T_m^{ch}$ ) 在 4.5 ~ 8.5 °C 的区间变化(表 1), 但集中在 6.0 ~ 8.6 °C 之间, 根据 Darling<sup>[12]</sup> 校正的 H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl 体系盐度计算方程, 其对应的盐度主要变化范围是 2.8 ~ 6.0 wt. % NaCl(图 2b)。由于  $V_{CO_2} + L_{CO_2}$  对 H<sub>2</sub>O 的比例都在 50% 以上, 包裹体最后向液相 CO<sub>2</sub> 均一, 均一温度峰值区间为 260 ~ 320 °C

(图 2c)。

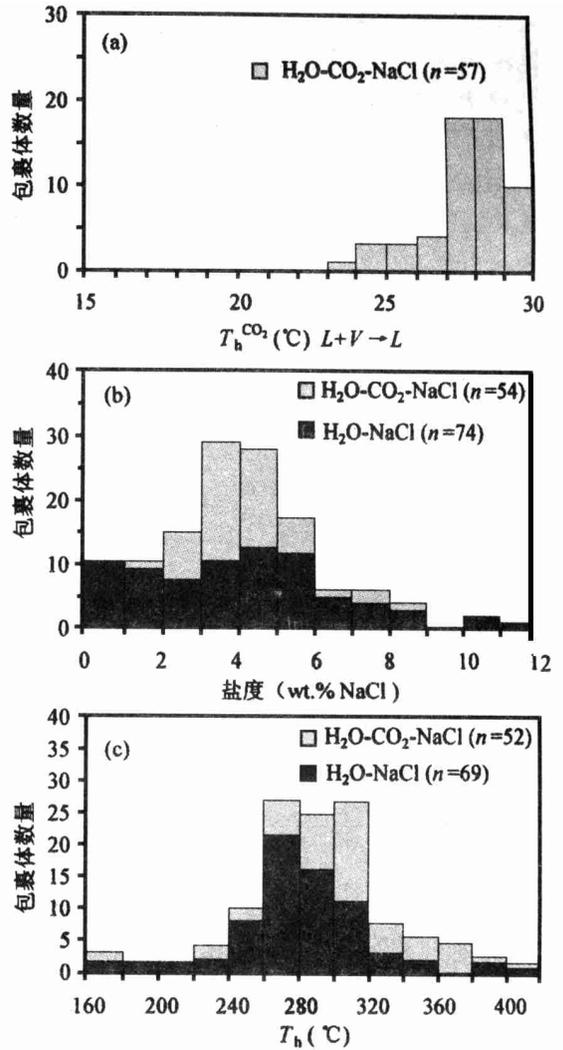


图 2 变质脉体石英中 H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl, H<sub>2</sub>O-NaCl 体系包裹体的 CO<sub>2</sub> 部分均一温度、盐度和最后均一温度直方图

Fig. 2. Histograms of  $T_h^{CO_2}$ , salinities and homogenization temperatures of the H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl and H<sub>2</sub>O-NaCl fluid inclusions in quartzs from the metamorphic veins.

### 2.2 液体包裹体(类型 B)

该类包裹体属于 H<sub>2</sub>O-NaCl 体系, 因为少数包裹体在冷冻后回温的过程中, 可以观察到清楚的始熔现象并获得接近 -21 °C 的始熔温度, 尽管大多数情况下难以观察初熔现象并测到该温度值。包裹体的冰点温度 ( $T_m^{ice}$ ) 变化较大(在 -0.1 ~ -8.1 °C 之间), 其对应的盐度(根据 Potter 等<sup>[13]</sup> 的方程计算)变化区间也较大(0.1 ~ 11.8 wt. % NaCl)(表 1), 但总体上以盐度低于 6.0

wt. % NaCl为特征(图2b)。几乎所有的液体包裹体的气/液比都在50%以下,它们最后均一到液相,其均一温度峰值区间为260~320℃,与类型A的很一致(图2c)。

### 2.3 纯CO<sub>2</sub>包裹体(类型C)

室温下也显示为气液两相,与溶体包裹体(类型B)的特征基本一致,但在冷热台上的相态变化和温度值则与之完全不同。当过冷到-110℃后包裹体冻结,并在回温到-56.6℃时熔化(表1),表明气相由纯的CO<sub>2</sub>组成,继续升温到-10~10℃之间时未观察到CO<sub>2</sub>水合物的出现,而且在27.3~29.9℃之间包裹体向液相均一,因此包裹体中的液相也是由CO<sub>2</sub>组成的。根据 $T_h^{CO_2}$ 计算的CO<sub>2</sub>密度在0.61~0.68之间,与类型A的密度一致(表1)。

此外,在样品34-1中见到含子矿物包裹体(类型D),子矿物以立方体或长方体为特征,很可能为石盐子晶。根据所测定的9个包裹体子矿物的均一温度可知,包裹体的盐度在31.6~45.1 wt. % NaCl之间,表明它们为高盐度的水流体。

## 3 讨论

### 3.1 变质脉体的形成条件

对于有复杂矿物组成的变质脉体,无疑可以利用类似于变质岩的矿物阳离子方法估算其形成的温度压力条件。矿物对的氧同位素温度计是估算脉体形成温度的另一个有效方法<sup>[14]</sup>。上述星子群中变质脉体的矿物组成简单,只有长英质脉体可以用斜长石-石英矿物对的氧同位素组成估算脉体的形成温度,但是它们形成的压力条件不能由矿物组合确定,而需要考虑另外的方法。

利用流体包裹体等容线方法,对不同变质岩中流体的温度压力条件及其演化进行讨论,是流体包裹体在变质岩研究方面的重要应用。前人大量的研究表明,如果变质矿物中流体包裹体等容线位于该矿物形成的变质温度压力区间,则所研究的包裹体代表了与该矿物达到平衡的变质流体。根据矿物阳离子温度压力计估算,星子群变质岩形成的温度压力条件分别在550~680℃、(5~7)×10<sup>8</sup>Pa,而且由斜长石-石英氧同位素组成估算的温度区间(490~680℃)与其基本一致。根据上述不同样品中含液体CO<sub>2</sub>包裹体的最大

CO<sub>2</sub>密度,可以得到不同的等容线,它们都经过了角闪岩相的温压区间,并且由变质温度估算结果得到压力区间主要在(5~8)×10<sup>8</sup>Pa(图3),该压力范围与上述星子群变质压力很接近。因此,变质脉体中的流体包裹体是在星子群峰期变质作用阶段被捕获的,是星子群脱挥发分作用形成的变质流体的一部分,从而进一步表明所研究的脉体属于同变质期脉体,为变质流体的直接产物。

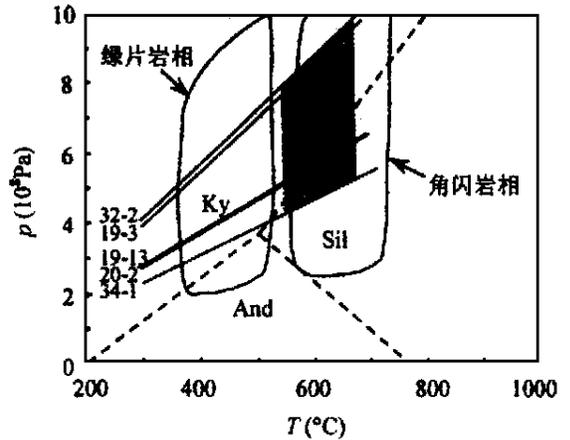


图3 变质脉体石英中流体包裹体捕获的温度压力条件

Fig. 3. Pressure and temperature conditions for fluid inclusion entrapment in metamorphic vein quartzs.

等容线由具最大CO<sub>2</sub>密度的H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl包裹体的有关参数计算(数字代表样品编号,同表1);温度是由变质围岩的矿物阳离子方法估算的结果(550~680℃);变质相范围据Yardley<sup>[15]</sup>;Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>矿物稳定域据Holdaway<sup>[16]</sup>,And—红柱石,Sil—夕线石,Ky—蓝晶石

### 3.2 变质流体组成

由前述包裹体类型表明,它们属于:H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl、H<sub>2</sub>O-NaCl和纯CO<sub>2</sub>体系,因此形成星子群变质脉体的流体总体上也是以H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>型为特征,与通常中级变质岩的流体组成<sup>[17,18]</sup>一致。然而,上述包裹体温度测定结果显示,变质脉体石英中除含大量低盐度水溶液包裹体外,还含有少部分高盐度(含子矿物)的水溶液包裹体。对于低盐度的水溶液包裹体,由于它们的均一温度峰值区间与H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl包裹体很一致(图2c),而且总体上两者的盐度也接近(图2b),因此低盐度的水溶液也属于该区变质流体的一部分,而且星子群变质原岩以海相砂泥质沉积岩为特

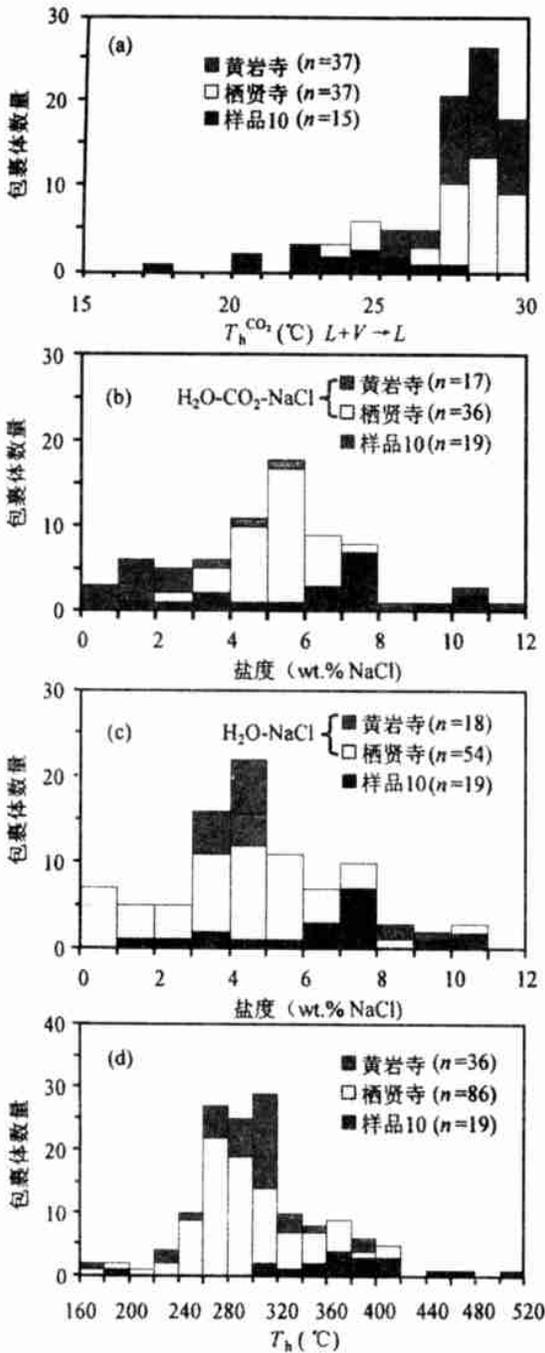


图 4 变质脉体和中生代伟晶岩脉间(样品 10)流体包裹体的 CO<sub>2</sub> 部分均一温度(a)、盐度(b)和(c)、最后均一温度(d)的对比

Fig. 4. Comparison of  $T_h^{CO_2}$  (a), salinity (b) and (c), and  $T_h$  (d) between fluid inclusions in the metamorphic veins and those in Mesozoic pegmatitic vein (sample 10).

征, 变质作用过程中形成盐度接近于海水盐度(约 3.5 wt. % NaCl)的流体是完全可能的。对于高盐度的水溶液, 情况可能不同。尽管在部分中高

级变质岩<sup>19,20</sup> 和高压变质岩<sup>21-23</sup> 中存在高盐度(含子矿物)的包裹体, 但由于本区岩石主要是变质碎屑岩, 绝大部分包裹体以低盐度为特征, 高盐度包裹体只占极少数, 而且变质流体自岩石中脱出到形成脉体的过程中有一定距离的运移, 因此高盐度的卤水很可能是 H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl 体系的流体发生相分离产生的, 另一个端元是纯 CO<sub>2</sub> 包裹体。流体发生相分离的主要原因是压力的降低, 两种盐度差别很大的包裹体的共存是流体相分离的重要标志<sup>1,24</sup>。

作为变质脱挥发分作用形成的变质流体, 它们的组成无疑受到原岩性质的制约, 其具体体现是包裹体物理化学参数的变化。将前述包裹体测定结果按照地点进行归并, 可以看出黄岩寺与栖霞寺两地包裹体的均一温度峰值区间很一致, 并明显比岩浆流体形成的中生代伟晶岩要低许多, 后者为 360 ~ 420 °C (图 4d)。而总体上黄岩寺的包裹体盐度明显较栖霞寺的要低, 尤其是 H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl 体系的包裹体更是如此(图 4b), 而且变质脉体包裹体的盐度都低于中生代岩浆流体(图 4b, 4c)。Smith 和 Yardley<sup>11</sup> 通过对不同性质岩石中变质脉体的包裹体盐度研究揭示, 高水含量的原岩, 形成变质流体的盐度要比低水含量岩石的低。黄岩寺以粘土矿物高为特征, 形成变质流体时由于水的稀释作用, 使得流体的盐度降低。因此, 包裹体盐度的变化是原岩性质和变质作用过程中水/岩比值的指征。此外, 变质脉体与中生代伟晶岩脉的流体包裹体在  $T_h^{CO_2}$ 、盐度和均一温度上的明显差异(图 4), 为所研究的长英质脉体不属于岩浆流体产物提供了进一步的佐证。

## 4 结 论

(1) 脉体石英中捕获有大量原生的流体包裹体, 表明脉体(无论是石英脉还是长英质脉)均是流体的直接产物。

(2) 变质脉体中流体包裹体捕获的温度压力条件与星子群变质岩的角闪岩相条件很接近, 为这些脉体属于变质流体形成的同变质期脉体提供了进一步的证据。

(3) 星子群变质流体主要属于 H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl 体系, 同时有属于 H<sub>2</sub>O-NaCl 体系流体的混合, 总体上与许多变质地体中变质流体组成为 H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub> 型的特征相一致。变质流体在向外迁移形成脉体的过程中可能发生了局部的相分离。

## 参 考 文 献

- 1 Smith M P and Yardley B W D. Fluid evolution during metamorphism of the Otago Schist, New Zealand (I) Evidence from fluid inclusions. *J. Metamorphic Geol.*, 1999, 17: 173~186
- 2 赵国春, 刘树文, 孙德有. 变质流体对变质反应温度缓冲作用实例研究及意义. 长春地质学院学报, 1996, 26: 31~36
- 3 Cesare B. 1994. Synmetamorphic veining; origin of andalusite-bearing veins in the Vedrette di Ries contact aureole, Eastern Alps, Italy. *J. Metamorphic Geol.* 12: 643~653
- 4 Yardley B W D and Bottrell S H. Silica mobility and fluid movement during metamorphism of the Connemara schists, Ireland. *J. Metamorphic Geol.*, 1992, 10: 453~464
- 5 Ague J J. Compositional variations in metamorphosed sediments of the Littleton Formation, New Hampshire. *Am. J. Sci.*, 1997, 297: 440~449
- 6 Cesare B and Hollister L S. Andalusite-bearing vein at Vedrette di Ries (eastern Alps, Italy); fluid phase composition based on fluid inclusions. *J. Metamorphic Geol.*, 1995, 13: 687~700
- 7 Ague J J. Mass transfer during Barrovian metamorphism of pelites, south-central Connecticut. II: Channelized fluid flow and the growth of staurolite and kyanite. *Am. J. Sci.*, 1994, 294: 1061~1134
- 8 徐学纯. 变质流体研究的意义和途径. 国外前寒武纪地质, 1991, (3): 64~77
- 9 谢国刚, 李均辉, 李武显等. 庐山中震旦纪岩石中锆石 U-Pb法定年与其地质意义. 地质科学, 1997, 32(1): 110~115
- 10 王凯怡, 程海, 叶英. 星子杂岩有关变质作用  $P-T$  条件及大地构造背景的初步研究. 见: 李继亮主编, 中国东南海陆岩石圈结构与演化研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992. 133~139
- 11 Liu C-Q and Tang H-F. Redistribution of rare earth elements (REE) during metamorphism and its indicative significance for fluid processes—a study on the trace element composition of the Xingzi Group metamorphic rocks in the Lushan area, SE China. *Science in China (Series D)*, 1999, 42: 646~654
- 12 Darling R S. An extended equation to calculate NaCl contents from final chlorite melting temperatures in  $H_2O-CO_2-NaCl$  fluid inclusions; Implications for  $P-T$  isochore location. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1991, 55: 3869~3871
- 13 Potter R W, Clyne M A and Brown D L. Freezing point depression of aqueous sodium chloride solutions. *Econ. Geol.*, 1978, 73: 283~285
- 14 Putlitz B, Matthews A and Valley J W. Oxygen isotope composition of quartz  $Al_2SiO_5$  veins on Naxos as indicators of the fluid-temperature history of high-grade metamorphism. *Mineral. Mag.* 1998, 62A: 1220~1221
- 15 Yardley B W D. An introduction to metamorphic petrology. *John Wiley and Sons Inc.*, 1989.
- 16 Holdaway M G. Stability of andalusite and the aluminum silicate phase diagram. *Am. J. Sci.*, 1971, 271: 97~131
- 17 Roedder E. Fluid inclusions. *Rev. Mineral.*, 1984, 12: 337~380
- 18 卢焕章, 李院生. 成矿流体. 见: 中国科学院矿床地球化学开放研究实验室, 矿床地球化学. 北京: 地质出版社, 1997, 109~134
- 19 范宏瑞, 谢奕汉, 王英兰. 豫西熊耳山地区变质流体的性质与演化. 矿物学报, 1992, 12(4): 299~308
- 20 范宏瑞, 谢奕汉, 赵瑞等. 小秦岭含金石英脉复式成因的流体包裹体证据. 科学通报, 2000, 45: 537~542
- 21 Svensen H, Jamtveit B, Yardley B, Austrheim H. Eclogite facies fluids from the Caledonides of western Norway: compositions and implications for fluid-rock interactions. *Mineral. Mag.*, 1998, 62A: 1481~1482
- 22 Xiao Y L, Hoefs J and van den Kerkhof A M, et al. Fluid inclusions in ultra high-pressure eclogites from the Dabie Shan, eastern China. *Mineral. Mag.*, 1998, 62A: 1667~1668
- 23 Philippot P and Selverstone J. Trace-element-rich brines in eclogitic veins: Implications for fluid composition and transport during subduction. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1991, 106: 417~430
- 24 池国祥, 卢焕章. 流体相分离的深度(压力)—温度场特征及其对热液矿床定位的意义. 矿物学报, 1991, 11(4): 355~362

# INCLUSION STUDY ON METAMORPHIC FLUIDS FROM THE XINGZI GROUP, LUSHAN

Tang Hongfeng<sup>1</sup> Liu Congqiang<sup>1</sup> Ni Pei<sup>2</sup>

1. (Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002)

2. (The State Key Laboratory of Mineral Deposit Research, Nanjing University, Nanjing 210093)

**Abstract:** Many quartz and felsic veins in parallel to the regional foliation occur in the Xingzi Group metasedimentary rocks. In the veins, quartz crystals contain a large number of primary fluid inclusions, including low-salinity liquid-CO<sub>2</sub>-bearing, H<sub>2</sub>O-NaCl, pure CO<sub>2</sub>, and high-salinity daughter-crystal-bearing inclusions. The position of the isochors for liquid-CO<sub>2</sub>-bearing inclusions in the metamorphic veins, combined with the obvious differences in final homogenization temperature, salinity, and CO<sub>2</sub> density between the inclusions in the metamorphic veins and those in the Mesozoic pegmatitic veins, suggests that the inclusions in the metamorphic veins are part of the metamorphic fluids trapped during metamorphism, hence lending further support to the conclusion that these quartz and felsic veins were formed during metamorphism. Metamorphic fluids in the Xingzi Group are the low-salinity H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl and H<sub>2</sub>O-NaCl fluids. High-salinity brine and pure CO<sub>2</sub> inclusions probably resulted from fluid phase separation during migration of the metamorphic fluids.

**Key words:** metamorphic fluid; fluid inclusion; Xingzi Group; Lushan