

· 岩矿测试 ·

# 郭家岭岩体矿物包裹体研究

王海芹

曲晓明 王鹤年

(山东省地质科学实验研究院) (南京大学地球科学系)

**提要** 通过对胶东金成矿区郭家岭岩体中熔融包裹体、含石盐子晶包裹体、 $\text{CO}_2$ 三相包裹体和 $\text{H}_2\text{O}$ 两相包裹体的显微测温,结果表明,该岩体在岩浆结晶晚期发生过高盐度流体与硅酸盐熔体的不混熔过程。根据熔融包裹体均一温度与均一过程的时间,利用相应公式,计算出郭家岭岩体包裹体熔体的粘度和含水量,认为该岩体是从一种高温高粘度的岩浆中结晶成岩的。

**关键词** 包裹体 显微测温 岩浆熔体 郭家岭岩体

胶东地区的许多金矿与郭家岭花岗闪长岩有着密切的成因联系。矿物中的包裹体,作为成矿介质的原始产物,携带着岩浆生成、演化的大量信息。因此对包裹体进行研究是探讨岩浆成因的有效手段之一<sup>[1]</sup>。笔者对郭家岭岩体石英矿物中的熔融包裹体做了研究。通过对该包裹体进行显微测温,根据其均一温度和均一过程的时间,利用熔融包裹体的扩散率公式(Johannes, 1985) $D_H = r^2/4t$ , Eyring 方程 $D_N = K_B \cdot T/\eta \cdot \lambda$ , 以及不同含水量花岗质熔体的 $\ln D_H - 1/T$ 实验图解<sup>[2]</sup>(Thomas, 1994), 计算出表征岩浆性质和分异演化的包裹体熔体的粘度和含水量。另外,还对该岩体中的 $\text{H}_2\text{O}$ 两相包裹体、 $\text{CO}_2$ 三相包裹体、含石盐子晶包裹体进行显微测温,得出相应的物理化学参数,以期全面了解郭家岭花岗闪长岩的成因。

## 1 岩体地质概况

郭家岭花岗岩包括郭家岭和丛家两个岩体,呈NEE向的岩基分布于胶东金成矿区的东北部,侵入时代为燕山早期,与玲珑岩体呈过渡关系。岩性为似斑状花岗闪长岩,主要由斜长石、钾长石、石英和少量暗色矿物组成,斑晶为钾长石,基质为中粗粒花岗结构。岩体中常见闪长质暗色包体分布。

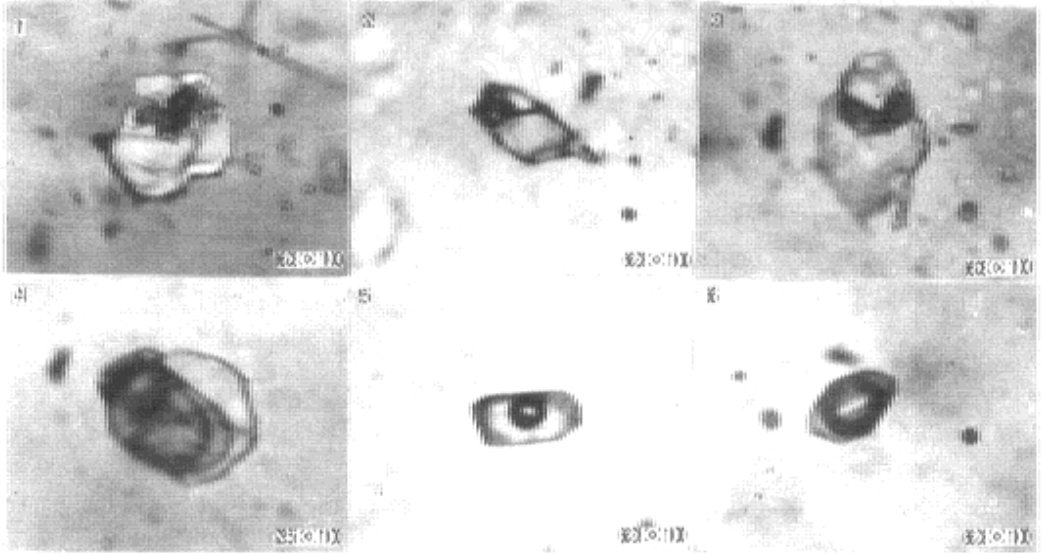
## 2 包裹体岩相学

郭家岭岩体所采集的代表性样品,对其磨制的双面抛光片进行显微镜观察,发现该岩

体中原生包裹体十分发育, 类型齐全, 个体较大。据室温时包裹体的相态特征, 可分以下几类。

### 2.1 熔融包裹体

岩体中熔融包裹体比较少见, 通常呈孤立状分布于石英中, 形态比较规则, 呈等轴状(照片 1-1)或短柱状(照片 1-2), 大小在  $16\sim 32\mu\text{m}$  之间。包裹体由气相+ 玻璃质或气相+ 结晶质组成。气体约占包裹体体积的  $15\% \pm$ , 呈不规则气泡聚集于包裹体一端, 玻璃质具裂纹, 结晶质由多个晶体组成(在显微镜下观察, 这些晶体可能为石英)。



照片 1 郭家岭岩体矿物包裹体类型  
(图片大小缩至原镜下照片的 9/10)

Photo. 1 Types of inclusions in Guojialing intrusive

1—等轴状熔融包裹体; 2—短柱状熔融包裹体; 3—含石盐子晶三相包裹体;  
4— $\text{CO}_2$  三相包裹体; 5— $\text{H}_2\text{O}$  两相包裹体; 6—呈石英负晶形的  $\text{H}_2\text{O}$  两相包裹体

### 2.2 含石盐子晶的三相包裹体

该类包裹体少见, 呈纺锤状分布于石英矿物中, 大小约  $32\mu\text{m}$ , 由立方体  $\text{NaCl}$ + 气体+ 其他盐类组成(照片 1-3), 各相的相对体积为  $1:1:3$ , 气泡被立方体  $\text{NaCl}$  压瘪。

### 2.3 $\text{CO}_2$ 三相包裹体

该类包裹体数量较少, 在石英中呈孤立状零星分布, 个体较大, 一般在  $15\sim 50\mu\text{m}$  之间, 其形态较规则, 多呈浑圆状(照片 1-4), 以气相为主, 约占总体积的  $40\% \sim 50\%$ 。

### 2.4 $\text{H}_2\text{O}$ 两相包裹体

是岩体中分布最多的包裹体, 呈孤立状或成群分布与于石英中。其形态较规则, 多呈柱状(照片 1-5), 还有发育很好的石英负晶形(照片 1-6), 个体大小不一, 在  $2\sim 24\mu\text{m}$  之间, 其中气相百分比变化较大, 在  $20\% \sim 60\%$  之间, 气泡较稳定。

## 3 显微测温

### 3.1 熔融包裹体

将含熔融包裹体(照片 1-1)的切片置于 LEITZ-1350 型热台上加热,其均一化过程如下:230 时,气体开始沿玻璃中的裂纹蔓延;395 时,气体充填了包裹体的整个空隙;690 时,玻璃与包裹体壁之间及包裹体内部裂隙均被气体充填,并出现熔融现象;750 时,玻璃质不断熔融变小,其体积约占包裹体总体积的 45%;850 时,玻璃质不断熔融变小,体积约剩 20%;910 时,包裹体只剩下很小的玻璃块尚未熔融,体积仅剩 5%;945 时,玻璃体消失。经 25 分钟,包裹体完全均一。

熔融包裹体(照片 1-2)的均一化过程如下:280 时,气体沿玻璃中的裂纹蔓延;368 时,一小气泡从玻璃裂纹的一端向另一端移动;390 时,充填了气体的包裹体壁和裂纹部位开始出现熔融现象,小气泡消失;710 时,玻璃体因熔融明显变小,边缘圆化;950 时,玻璃块进一步变小,颜色变暗;982 时,玻璃熔融消失。经 15 分钟,熔体变成均一的暗褐色。

### 3.2 含石盐子晶三相包裹体(照片 1-3)

由石盐(立方体)+液相+压瘪的气泡+其他未知盐类组成。390 时,未知盐类熔化,气泡变成圆形并向上移动,随温度升高,气泡不断缩小;425 时,气泡消失,立方体石盐子晶边缘圆滑;510 时,石盐晶体约剩下原来大小的 1/2,此时包裹体爆裂,未能测出均一时的温度。

以上三个包裹体是在 LEITZ-1350 型热台上加热完成的。

### 3.3 CO<sub>2</sub> 三相包裹体

CO<sub>2</sub> 三相包裹体的测温是在英国产 LNKAM THMS-600 型冷热台上进行的。三个 CO<sub>2</sub> 三相包裹体(其中一个见照片 1-4)测温结果表明,CO<sub>2</sub> 三相包裹体的三相点在 -56.2 ~ -57.2 之间,很接近纯 CO<sub>2</sub> 体系的三相点(-56.6)。CO<sub>2</sub> 水合物分解点在 -1.1 ~ -5.3 之间,部分均一温度在 25.7 ~ 29.8 之间,低于 CO<sub>2</sub> 的临界点(31.1),这说明包裹体中除了 H<sub>2</sub>O 和 CO<sub>2</sub> 外,还有其他挥发分存在。包裹体完全均一温度的变化范围较大,在 264.3 ~ 421.4 之间。

由包裹体显微测温结果得出其形成时的物理化学参数<sup>[5]</sup>,见表 1。

## 4 包裹体熔体粘度和含水量的计算

Johannes(1985)通过对硅酸盐熔体中扩散系数的研究得出包裹体熔体扩散系数计算公式:

$$D_H = r^2 / 4t \quad (1)$$

式中:  $r$  为包裹体的半径(cm);  $t$  为包裹体液相线温度下不均匀组分通过扩散达到均一所需的时间(s);  $D_H$  为包裹体中硷质组分(如 Na, K 等)在流体相的扩散率。

另外,根据 Eyring 方程(Baker; 1990, 1992)硅酸盐熔体中非硷质组分(如 Si, Al, Ca, Mg, Fe 等)的扩散率与熔体粘度有关,

即

$$D_N = K_B \cdot T / \eta \cdot \lambda \quad (2)$$

表 1 郭家岭岩体石英矿物包裹体的显微测温结果及物理化学参数

Table 1 Microthermometry results, and physical and chemical parameter of the quartz inclusions in Guojialing intrusive

序号	包裹体类型	照片号	CO <sub>2</sub> (Vol%)		三相点 ( )	均一温度 ( )		冰点 ( )	水合物 分解点 ( )	压力 (MPa)	盐度 (Wt% NaCl)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
			气	液		完全	部分					
1	CO <sub>2</sub> 三相	IV	40	20	- 56.2	421.4	29.8	-	3.4	160	11.5	-
	CO <sub>2</sub> 三相		50	30	- 57.2	264.3	25.7	-	- 1.1	120	17.1	-
	CO <sub>2</sub> 三相		40	20	- 56.8	408.7	27.4	-	5.3	180	8.5	-
3	熔融	I	-	-	-	945	-	-	-	-	-	-
4	H <sub>2</sub> O 两相	VI	-	-	-	291.9	-	- 3.2	-	54	5.25	0.79
	熔融		II	-	-	-	982	-	-	-	-	-
5	H <sub>2</sub> O 两相	V	-	-	-	292.8	-	- 2.2	-	65	3.69	0.78
	含石盐子 晶三相		III	-	-	-	> 510	-	-	-	-	-

式中:  $D_N$  为非硷质组分的扩散率;  $K_B$  为玻兹曼常数;  $T$  为均一时温度(K);  $\eta$  为粘度(Pa · s);  $\lambda$  为扩散组分的跳跃距离, 对 Si-O 或 Al-O 格架可取  $1 \times 10^{-8}$  cm。

实验表明:

$$D_N = D_H \times 10^{-2} \quad (3)$$

水的扩散率与硷质组分(如 K, Na) 相当, 故 H<sub>2</sub>O 在硅酸盐熔体中的扩散率视为  $D_H$ , 由(2)式可求出熔体粘度。

熔体含水量计算依据阿伦尼乌斯方程:

$$D_H = D_0 \exp(-E_p/R \cdot T) \quad (4)$$

式中:  $D_0$  为频率系数;  $E_p$  为熔体发生扩散的活化能;  $R$  为气体常数;  $T$  为均一温度(K)。它们与熔体的含水量等因素有关, 对(4)式取对数,

则

$$\ln D_H = -E_p/R \cdot T + \ln D_0 \quad (5)$$

由此得出  $\ln D_H - 1/T$  直线方程图(图 1) 不同含水量的熔体表现为一组近乎平行的直线, 故从图可求得熔体的含水量。

由表 2 熔融包裹体的粘度、含水量及有关参数可得出:

表 2 熔融包裹体的粘度、含水量及有关参数

Table 2 Viscosity, water content and related parameter of the melt inclusions

类型	照片号	半径 (cm)	均一温度 ( )	均一时间 (s)	扩散率 (cm <sup>2</sup> /s)	含水量 (%)	粘度 (Pa · s)
熔融包裹体	I	$16 \times 10^{-6}$	945	1500	4.267	2.6	$3.94 \times 10^5$
	II	$6.3 \times 10^{-6}$	982	900	$1.11 \times 10^{-14}$	1.8	$1.56 \times 10^6$

照片 1-1 熔融包裹体的粘度  $\eta = 3.94 \times 10^5$  Pa · s; 含水量 = 2.6%。

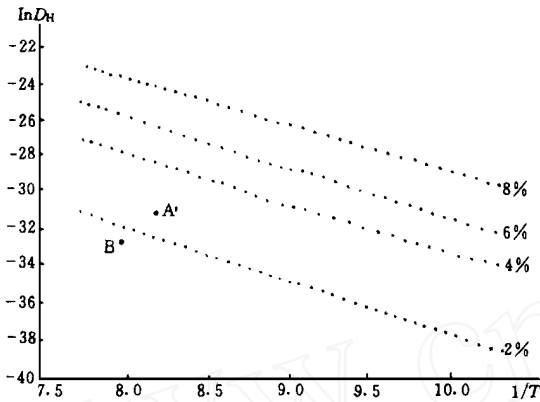


图 1 不同含水量花岗质熔体的  $\ln D_H - 1/T$  图  
(据 Thomas K. 1994)

(A、B 分别为照片 1-1、照片 1-2 中的熔融包裹体)

Fig. 1  $\ln D_H - 1/T$  figure of magma melt bearing different water contents

照片 1-2 熔融包裹体的粘度  $\eta = 1.56 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  含水量 = 1.8%。

## 5 结论与讨论

郭家岭岩体熔融包裹体发育。两个熔融包裹体给出的均一温度分别为 982 和 945，由此推断岩浆温度不低于此温度，应在 1000 以上，且含水量较低 (2% ±)，粘度较高 ( $1.56 \times 10^6 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  和  $3.94 \times 10^5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ )，表明该岩体是从一种高温高粘度的岩浆中结晶成岩的。岩体中没有发现流体熔融包裹体 (由结晶质和流体组成，后者为气相+液相)，代之以形成的都是高盐度 (6wt% NaCl) 高温度的流体包裹体。

其中含石盐子晶包裹体在 510 石盐尚未熔化时即爆裂。Roedder (1992) 研究认为这类包裹体是岩浆结晶分异过程中熔体发生不混熔的证据<sup>[4]</sup>，其主要理由是均一温度在 500 以上，经过压力校正后其捕获温度将超过 600，这样就 very 接近花岗岩体系正常的固相线温度。由此说明，该岩体在岩浆结晶晚期发生过高盐度流体与硅酸盐熔体的不混熔过程。岩体中也常见  $\text{CO}_2$  三相包裹体分布，但数量明显少于  $\text{H}_2\text{O}$  两相包裹体，说明岩浆是以  $\text{H}_2\text{O}$  为主， $\text{CO}_2$  较少。 $\text{CO}_2$  三相包裹体给出的均一压力在 0.12~0.18GPa 之间，表明该岩体形成深度较大，大体在 4~7km 之间。

总之，郭家岭岩体是从一种高温高粘度岩浆中结晶的，结晶分异过程中发生过熔体不混熔作用，其成岩压力较大，岩体形成深度大体在 4~7km 之间。

## 参考文献

- [1] 王炳成. 山东胶西北地区两类花岗岩的矿物包裹体特征. 山东地质, 1989, 5(1): 48~51
- [2] Thomas R. Estimation of the viscosity and the water content of silicate melts from melt inclusion data Mineral 1994, (6): 511~535
- [3] 卢焕章, 李秉伦, 沈昆等著. 包裹体地球化学. 北京: 地质出版社, 1990. 107~112, 123
- [4] Roedder E. Fluid inclusion evidence for immiscibility in magmatic differentiation. Geochimica et Cosmochimica Acta 1992, 56: 5~20

## STUDY ON MINERAL INCLUSIONS IN GUOJIALING INTRUSIVE

Wang Haiqin

(Shandong Institute and Laboratory of Geological Sciences)

Qu Xiaoming and Wang Henian

(Earth Science Department of Nanjing University)

### Abstract

By the microthermometry of melting inclusion, daughter crystal of halite<sup>-</sup> bearing inclusion, three-phase of CO<sub>2</sub> inclusion and two-phase of H<sub>2</sub>O inclusion in Guojialing intrusive in Jiaodong gold mineralization field. It demonstrates that the intrusive experienced an incompatible period between high salinity fluid and silicate melt in late crystallization time of the intrusive. According to homogenization temperature and its time of the melting inclusion, viscosity and water content of the inclusion melt in Guojialing intrusive were calculated by related formula and it concluded that the intrusive crystallized from a high temperature and viscosity magma.

**Key words:** Inclusion, microthermometry, magma melt, Guojialing intrusive

### 更 正

本刊第 14 卷第 1 期第 19 页第 1 行“变质矿”应为“变质矿物”，予以更正。