

尖峰岭似伟晶岩内黄玉中的熔流包裹体^{*}

常海亮 黄惠兰

(宜昌地质矿产研究所, 宜昌 443003)

主题词 熔流包裹体 熔融包裹体 流体包裹体 不混溶 似伟晶岩 湖南尖峰岭

提 要 详细叙述了熔流包裹体以及与之密切共生的熔融包裹体和流体包裹体在分布关系、组成相态及其比例、流体成分、硅酸盐熔体分子网络聚合结构以及各种包裹体在加热—淬火—冷冻过程中的热变化行为和均一化温度及其途径等各方面的特征和异同点。认为这种熔流包裹体是在岩浆演化末期从岩浆(熔融体)与水(流体)的不混溶体系中以任意比例同时将其捕获所至,因而,它具有重要的理论意义和实际意义。

在使用熔流包裹体这个术语时,几乎都是据其主体成分和室温时的组成相态而定。本文则主要以包裹体在捕获时的状态是均匀的还是非均匀的这一本质特征为前提。因此,本文所述熔流包裹体是指那些从 H_2O (流体)与岩浆(硅酸盐熔融体)不混溶体系中,以任一比例同时捕获硅酸盐熔体与水流体的那些异常流体包裹体。而在以往的有关文献中,几乎全是关于正常流体包裹体的资料,或者没有注意将这种非均匀捕获的异常包裹体与正常包裹体区别开来。本文着重介绍这种熔流包裹体的主要特征及其与正常熔融包裹体和两相气液包裹体之异同点,并讨论了它的重要意义。

1 地质简况及黄玉中的流体包裹体类型

尖峰岭似伟晶岩产于湖南临武县香花岭地区尖峰岭花岗岩顶部边缘。后者位于我国南岭东西向构造带与耒南北北向构造带之复合部位,呈岩株状侵入于上古生界浅海相碳酸盐地层中,出露面积为 4.4km^2 。其黑云母 $K\text{-Ar}$ 法年龄为 167Ma 。岩体分异良好,自上至下大致可分为四个岩相带: I、似伟晶岩或云英岩带; II、中细粒锂白云母钠长石碱长花岗岩带; III、中粒铁锂云母钠长石碱长花岗岩带; IV、中粒黑鳞云母碱长花岗岩带。产于岩体内部及其接触带附近的 TR-Nb-Ta-W-Sn 等矿床与之有密切的成因联系。似伟晶岩呈似层状零星地残留在岩体东部及东南部小山坡上,厚度为数厘米至 $3\text{—}5\text{m}$,其主要矿物有石英、铁锂云母和黄玉,此外,有少量钾长石等,内部分带性不明显。似伟晶岩与上覆围岩呈侵入接触关系并使之产生矽卡岩化或云英岩化,而与下伏花岗岩则呈锯齿状镶嵌或逐渐过渡。

似伟晶岩内黄玉中的流体包裹体十分发育,作者按捕获时物质的状态将其分为两大类:一是呈均匀状态的正常包裹体;二是捕获时呈非均匀状态的异常包裹体(熔流体包裹体)。前者又可根据其主体成分和室温时的组成相态进一步分为熔融包裹体和流体包裹体(两相气液

^{*} 第一作者简介 常海亮,男,生于1940年,高级工程师,实验地球化学专业。
本文于1997年8月25日收到,11月25日改回。

包裹体)。如果用 A 表示熔融包裹体, B 表示流体包裹体, C 表示熔流包裹体, 那么三种包裹体之间的大致数量比例关系是: A: B: C= 5: 70: 25。三种包裹体的大小范围大致是: A= 3—15 μm ; B= 2—60 μm ; C= 3—30 μm 。

2 熔流包裹体的主要特征

(1) 分布特征: 在黄玉(001)切面上, 曾见到熔融包裹体、熔流包裹体以及少量两相气液包裹体一起沿黄玉(110)与(120)两组面网分布。这不仅表明三者都是原生的, 而且还表明它们是同时被捕获的。但最常见的情形是, 其中的 A 类与 C 类包裹体或 B 类与 C 类包裹体互相混杂在一起而又各自相对独立成群分布。正如照片 1 所见到的那样, 在不到 200 μm 范围内, 左面是两相气液包裹体群(第①号和第②号包裹体), 右边则为熔流包裹体(第③—第⑨号包裹体)。在二者之间还有许多极细小的熔流包裹体散布。

(2) 组成相态: 在室温条件下, 熔融包裹体由硅酸盐玻璃相及其结晶质和气体组成, 通常气相体积占 10%—20%; 两相气液包裹体(流体包裹体)由 H_2O (CO_2) 及其气体组成, 其中气相占 40vol%—60vol%; 熔流包裹体则既有硅酸盐玻璃相和结晶质, 又有流体(主要为液相水和 H_2O 与 CO_2 等气体), 而且流体部分所占的体积百分比是任意的, 通常在 20%—80% 范围内变化(参见照片 1、2、3、4)。熔融包裹体和熔流包裹体中的硅酸盐都已演化成长英质、黄玉或浅色云母以及玻璃质等。其折光率皆低于黄玉或与黄玉主晶相近。在正交偏光下往往不同程度地呈现弱的干涉色。由于都含有硅酸盐物质, 因而极易将熔流包裹体与熔融包裹体混为一谈。

(3) 熔流包裹体中流体的主要成分、盐度、均一温度等与附近两相气液包裹体十分接近。据喇曼探针分析结果*: 熔流包裹体中的气相与两相气液包裹体的气相成分都主要是 H_2O 与 CO_2 , 其次有 N_2 、 H_2S 、 CH_4 、 CO 和 H_2 等(表 1); 液相成分除 H_2O 与 CO_2 外, 还有较多的 H_2S 、 CH_4 等(有的仅有 H_2O , 如⑨号包裹体); 两种包裹体的水溶液中所溶解的阴、阳离子

表 1 熔流包裹体和流体包裹体的气、液相组成(mol%)

Table 1 Gas-liquid phase compositions of melt-fluid inclusions and fluid inclusions (mol%)

包裹体 类型	包裹体 代号*	气 相							液 相			
		CO_2	N_2	H_2S	CH_4	CO	H_2O	H_2	H_2O	CO_2	H_2S	CH_4
熔 流 包裹体	10	23.7	10.2	5.5	4.9		46.7	7.2	57.3	19.7	10.7	12.3
	9	23.2	15.2		1.9	8.8	50.9		100.00			
气 液 包裹体	0	12.5	10.2	3.1		8.4	65.8		83.1	11.2		5.7

* 为照片 1 中的代号(下同)

种类、数量及其盐度皆基本相同(表 2): 熔流包裹体中流体部分的均一温度与附近两相气液包裹体的均一温度值相比十分接近或略低, 而且都毫无例外地往液相均一。熔流包裹体中流

* 本文所有喇曼探针分析皆由西安地质矿产研究所徐培苍研究员完成

体部分均一温度的高低与流体所占的体积百分比相适应, 当流体部分所占的体积百分比越大, 则其均一温度值越接近或等于附近两相气液包裹体的均一温度(详见照片1中各个包裹体的均一温度及照片2中每个熔流包裹体中流体部分所占的体积百分比)。

表2 熔流包裹体和气液包裹体的液相成分和盐度

Table 2 Liquid phase composition and salinity in melt-fluid inclusions and fluid inclusions

包裹体类别	包裹体代号	液相组成(mol%)			水溶液中阴、阳离子浓度(mol%)								盐度(wt% NaCl)	
		H ₂ O	CO ₂	CH ₄	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	HS ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	据液相成分计算	据冷冻法测定
熔流包裹体	9	100			0.2	1.26	0.03	0.07	0.15	0.10	0.12	1.66	11.20	11.50
气液包裹体	0	83.1	11.2	5.7	0.1	1.57	0.05	0.10	0.11			1.97	11.10	11.20

作者曾对尖峰岭花岗岩和似伟晶岩内的石英及其流体包裹体的稳定同位素进行了研究, 证实其氢、氧、碳同位素组成皆在正常岩浆水范围(表3, 图1)。因目前尚无黄玉及其氢、氧同位素的分馏方程, 而似伟晶岩中的黄玉与石英密切共生, 其包裹体特征基本相同, 因此, 可以认为黄玉中的气液包裹体和熔流包裹体的氢、氧同位素亦应属正常岩浆水来源。

(4) 熔流包裹体的热变化行为较正常熔融包裹体复杂, 且温度范围广。在加热过程中, 一般到200℃左右熔流包裹体中局部地方就可能有小气泡跳动消失, 大多数熔流包裹体中流体部分的均一温度在370—420℃范围内(照片1)。流体部分均一后, 大致在510℃左右, 熔流包裹体中的硅酸盐部分(特别是其中的玻璃质)开始软化和熔化; 在550—580℃之间, 熔流包裹体中固相的熔化特别猛烈, 而附近正常熔融包裹体在520℃以前, 基本没有什么变化; 即使到520—580℃范围内, 正常熔融包裹体中的熔化作用亦十分缓慢; 至580—610℃, 熔融包裹体中的熔化才较显著; 至620—680℃之间, 正常熔融包裹体便达到完全均一化。但这时(特别是在600—680℃之间), 虽然熔流包裹体中的固相亦可全部熔化, 但只呈现由

硅酸盐熔体+气泡(液相水)的平衡而未能实现均一化。如果这时立即淬火, 则正常熔融包裹体保持均匀状态, 不发生多相化, 而熔流包裹体中的硅酸盐熔体部分虽然也变成玻璃(未发生多相化), 但液相水中却出现一个冷缩气泡而呈现三相(参见照片2)。如果淬火速度特别快, 还可见到如同А. И. Захарченко^[1]所描述的“熔流体发生沸腾”的现象——在玻璃中出现许多“小气泡”。但不论熔流包裹体中出现多少个“气泡”, 也不论淬火前还是淬火后, 润

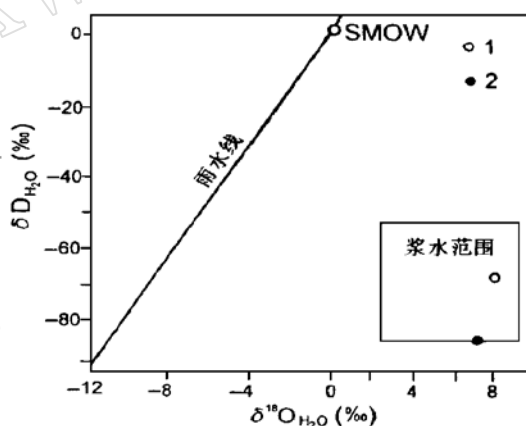


图1 包裹体流体的氢、氧同位素组成

Fig. 1 δD - $\delta^{18}O$ diagram of inclusion fluids

1—似伟晶岩; 2—花岗岩

湿包裹体腔壁的始终是硅酸盐熔融体(照片 2)。应该指出的是,当熔流包裹体中的硅酸盐固相完全熔化后,不同包裹体中流体部分所占的体积基本与室温时所观察到的体积百分比相适应(参见照片 1 2)。当熔流包裹体中的固相完全熔化并将其淬火后,如果置于冷热台中进行冷冻,则其中的硅酸盐部分始终没有变化,而流体部分宛如独立的两相气液包裹体,可以清楚地看到 T_e 、 T_m 、 T_h 等各种相变。由于硅酸盐部分已全部熔化和包裹体壁上的结晶作用被消除,使包裹体的原始体积得到恢复,而且流体相也被全部集中到一起,所以其 T_e 、 T_m 、 T_h 值更加真实可靠。

表 3 包裹体流体的氢、氧和碳同位素组成

Table 3 Hydrogen, Oxygen and carbon isotope data of fluid inclusions

样号	样品名称	‰			‰(PDB)
		$\delta^{18}\text{O}_Q$	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}^*$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$
Xi- 5	强云英岩化钠长石碱长花岗岩中的石英	+ 10.6	- 85.0	+ 9.0	
Xi- 1	似伟晶岩中与黄玉共生的石英	+ 11.0	- 66.4	+ 9.8	- 3.8

* 分别以熔融包裹体的均一温度(680℃和 620℃)和石英的氧同位素值,并用克莱顿(1992)石英-水的氧同位素分馏方程($1000 \ln \alpha = 2.51 \times 10^6 T^{-2} - 1.95$)计算而得

(5) 熔流包裹体并非都不能实现“均一化”,但必须有比正常熔融包裹体均一化温度值更高的温度条件。一般来说,当熔流包裹体中的固相完全熔化后,仅恢复到捕获时熔体与流体的平衡状态。如果继续缓慢加热和长时间恒温,迫使包裹体中的内压力剧增,也可使少量水溶液逐渐溶于熔融体而呈现“均一化”。如果熔流包裹体中混入的流体相较少,那么其“均一化”温度比正常熔融包裹体的均一化温度要高 30—180℃,但二者的均一化途径是不同的。正常熔融包裹体在硅酸盐固相接近完全熔化前,气泡(流体相)便逐渐消失,最后通过固相完全熔化而实现均一化。如果熔流包裹体中不混溶的流体相很多,则无论怎样过热和长时间恒温,最终只能导致包裹体破裂和强烈变形而永远不能实现“均一化”。

(6) 关于熔流包裹体中硅酸盐熔融体的分子网络聚合结构特征及其所含气体的成分。在目前已发表的有关熔流包裹体固相物质的描述中,大多是通过喇曼探针确定的,而且包裹体中的晶出物几乎皆与主矿物雷同。看来要证实其中的固相物质确系硅酸盐熔融体之冷却演化产物以及这种熔融体的基本特点,还需作更多工作。基于喇曼散射已广泛有效地应用于硅酸盐熔体结构研究,而且硅酸盐熔融体的振动光谱与其淬火产物——硅酸盐玻璃的振动光谱十分类似^[2,3],作者采用了将熔流包裹体置于 1350 显微热台中逐步缓慢加热和恒温的办法^[4],使其固相物质逐渐熔化成熔融体并将其淬火,然后用法国 JY 公司生产的 U1000 型激光喇曼探针分别测定熔流包裹体中流体相的气液成分、阴、阳离子的相对浓度和玻璃相的分子网络聚合结构特征及其所含气体的成分,其结果如表 1 2 和表 4 5 所示。显然,四个熔流包裹体玻璃相的分子网络皆以架状为主体,由架状、二聚体、层状及环链状四种群聚态组成,其中缺少 Mysem 所描述的在 CaMgSiO_4 成分玻璃相中经常出现的单体结构,但经常有未熔完的长石类残余物(照片 4),熔体的断键程度高,玻璃相中分子水与羟基水的相对含量皆高,再结合主体岩石的化学成分特征以及熔流包裹体在加热—冷却—淬火过程中所呈现的行为和特征,表明熔流包裹体中的硅酸盐熔体是一种富含挥发份和碱金属的铝硅酸盐熔

融体。通常, 在富含 H_2O 和碱金属的花岗岩岩浆结晶时, 首先大量结晶的主要是石英和长石, 这就使得液相中更加富含未能进入结晶相的水和其它挥发份, 最终导致形成一种富含碱金属的硅铝质残余熔融体与不混溶的水流体同时浓集于侵入体的顶部并演化成似伟晶岩。在结晶时, 黄玉既可单独捕获其中的熔体形成熔融包裹体, 又可单独捕获其中的水流体形成两相气液包裹体, 还可以任一比例同时捕获硅酸盐熔融体与不混溶的水流体而构成熔流包裹体。

表 4 熔流包裹体玻璃相中的气体成分 (mol%)

Table 4 Gas composition of glass phase of melt-fluid inclusions (mol%)

包裹体编号	CO_2	N_2	H_2S	CH_4	CO	H_2O	OH^-	SO_2
10	46.1		15.9			11.2	15.5	11.3
9	35.7		4.8	3.0		21.1	35.4	
6						43.9	56.1	
7						24.6	75.4	

表 5 熔流包裹体玻璃相分子网络聚合结构分析结果*

Table 5 Analytical results of molecular network structure in glass phase of melt-fluid inclusions

包裹体 编 号	分子网络聚合类型及其相对数量 (mol%)				断键程度 (%)
	Di	Ch	Sh	Ne	
10	22	14	14	50	30.0
9	30	23	14	33	39.5
6	22	12	20	46	30.3
7	19	15	21	45	29.7

* 表中 Ne 为架状网络铝硅酸盐玻璃相, 其分子类型有两种:

一为 $\text{Si}-\text{Obr}-\text{Si}(\text{Al})$ 型 (喇曼位移为 $480-620\text{cm}^{-1}$; Obr 表示桥氧, 下同);

另一为 $\text{Si}(\text{Al})-\text{Onb}$ 型 (喇曼位移为 $1060-1190\text{cm}^{-1}$; Onb 表示非桥氧, 下同)。

Di 为二聚体网络铝硅酸盐玻璃相, 其分子类型为 $\text{Si}(\text{Al})-\text{Onb}$ (喇曼位移为 $900-950\text{cm}^{-1}$);

Sh 为层状网络玻璃相, 其分子类型为 $\text{Si}-\text{Onb}$ (喇曼位移为 $1050-1100\text{cm}^{-1}$);

Ch 为环键状网络玻璃相, 其分子类型为 $\text{Si}-\text{Onb}$ (喇曼位移为 $960-1030\text{cm}^{-1}$)。

3 结 论

尖峰岭似伟晶岩内黄玉中的熔流包裹体与正常熔融包裹体及两相气液包裹体密切共生, 其中的流体部分与两相气液包裹体在组成成分、阴、阳离子种类与浓度、水溶液的盐度、均一温度以及均一化途径等方面均十分一致, 而其中的硅酸盐部分与正常熔融包裹体类似。表明它是在岩浆演化末期从岩浆与水流体不混溶体系中, 以任一比例同时捕获两种液体所致。熔流包裹体中的硅酸盐部分代表黄玉结晶时被封存的岩浆熔融体样品, 而其中的水溶液是被保存下来的原始岩浆水样品。研究熔流包裹体, 对于了解当时岩浆熔融体及岩浆水的各种物理化学性质以及主矿物结晶的物理化学条件、岩浆-热液的演化过程及其分离条件以及岩浆热液与成矿作用的关系等具有重要的理论与实际意义, 但在温度测量应用中, 应该注意由熔流包裹体所造成的过热温度条件。

本文初稿写成后,在1994年E. Roedder访问我所时,曾就其中的一些基本认识与Roedder进行了口头交流, Roedder详细观看了有关测温片及其测定结果和照片等,非常赞同作者的观点。尔后,作者又补充了激光喇曼探针分析。

参 考 文 献

- 1 Захарченко А. И. О переходах гранитных расплавов во флюиды о их характере и метаморфности (по включениям в минералах). Геохи. минера. петрология, 1976, (2): 91—96.
- 2 徐培苍等. 岩浆玻璃相和工业硅酸盐玻璃相的结构和应用研究. 西北地质科学, 1993, 14(1): 63—120.
- 3 McMillan P. F. Vibrational spectroscopy of silicate liquids and glasses. Chemical Geology, 1992, 96(3/4): 351—368.
- 4 常海亮. 香花岭岩黄玉斑晶中熔融包裹体的研究. 中国地质科学院宜昌地矿所所刊, 1984, 第9号, 33—41.

Melt_Fluid Inclusions in Topaz from the Jianfengling Pegmatoid in Linwu County, Hunan Province

Chang Hailiang, Huang Huilan

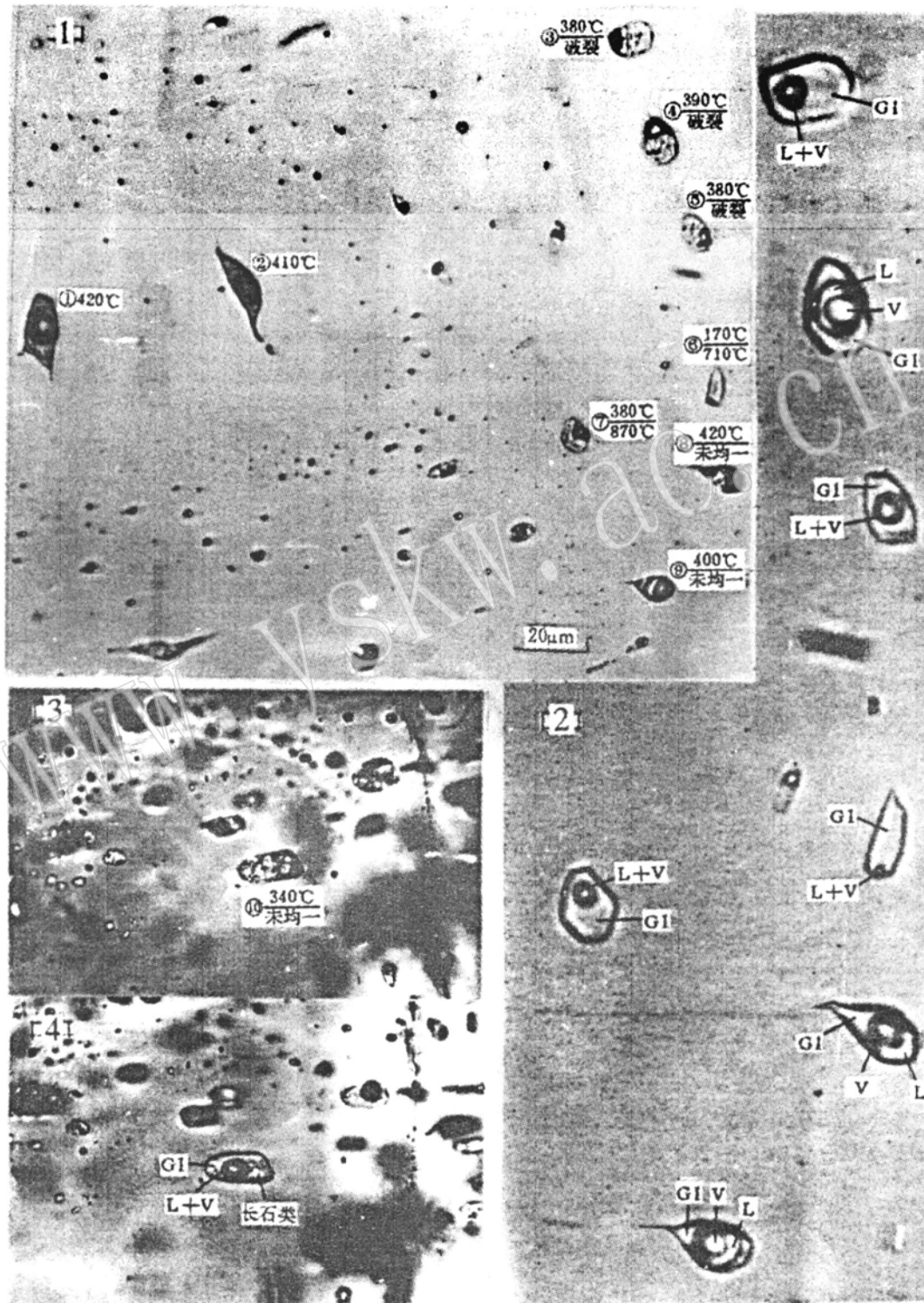
(Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003)

Key words: pegmatoid; melt_fluid inclusion; melt inclusion; fluid inclusion; immiscibility; Hunan Province

Abstract

The Jianfengling pegmatoid, situated in the upper part of the Jianfengling granite body in Hunan Province, South China, consists mainly of quartz, topaz and zinnwaldite. Three types of inclusions have been found in topaz from the pegmatoid body: (a) silicate melt inclusions, (b) fluid (gas_liquid) inclusions and (c) melt_fluid inclusions. Described here are characteristics of these inclusions as well as their distribution, phase state, composition, molecular textures of the polymerized silicate melt, homogenization temperature and homogenizing behavior during the heating, cooling and quenching processes. It is considered that the melt_fluid inclusions are products of random capturing of the unmixed magma (melt) and liquid (fluid) at the end of magmatic evolution. Therefore, the study of melt_fluid inclusions is of great significance in the discussion of the magmatic evolution process.

常海亮等: 尖峰岭似伟晶岩内黄玉中的熔流包裹体



《岩石矿物学杂志》第二届编辑委员会成立

《岩石矿物学杂志》第一届编辑委员会成立于 1986 年,除个别人员外,其余基本延续至今。原参加单位和人员因各种原因,已发生了较大变化,已不适合办刊发展的要求,迫切需要改组编委会,充实和加强编委会的力量。为此,经与有关单位协商,提出了新编委名单,经征求本人和所在单位同意后,组成了第二届编辑委员会。

考虑到单位和专业的代表性,编委会改组后,新编委成员略有增加,老编委保留不足三分之一,较年青的新编委占三分之二强,更具学术活力,专业面也更广些。今后,编辑部将认真依靠全体编委,也希望各位编委多出主意,多提建议,群策群力,共同把《岩石矿物学杂志》办好。上一届的编委们,长期关心和爱护本刊,做了许多卓有成效的工作,本刊全体同仁对他们致以衷心的感谢!同时希望继续得到他们的关心和支持。

现将《岩石矿物学杂志》第二届编辑委员会成员名单正式公布于下:

主 编:沈其韩 黄蕴慧

副 主 编:王立本 曾荣树 白文吉 张招崇

责任编辑:岩石部分 康志勤 郝艳丽

矿物部分 冯彦如 许德煊

编 委:(以姓氏笔划为序)

王立本	王汝成	王裕先	王德滋	邓晋福	白文吉	冯彦如	许保良
朱恺军	庄育勋	汤集刚	沈其韩	李英堂	李昌年	吴大清	吴健民
陈代璋	肖金凯	张招崇	杨经绥	杨建民	林锦荣	金 巍	郭立鹤
夏林圻	黄蕴慧	曹正民	康志勤	梅华林	曾荣树	鲁安怀	樊祺诚

《岩石矿物学杂志》编辑部

常海亮等:尖峰岭似伟晶岩内黄玉中的熔流包裹体

图 版 说 明

照片 1 熔流包裹体与两相气液包裹体的分布关系及在室温时的状况,其中的温度值为均一化温度(分母表示熔流包裹体完全“均一化”温度,凡在 870℃并恒温 2.5 小时仍未实现“均一化”或发生破裂者亦在相应处标明;分子表示流体部分的均一温度)

照片 2 照片 1 中的第③—第⑨号包裹体加热至 680℃并恒温半小时以上,然后淬火所呈现的相态(放大倍数比照片 1 高),其中,L 为液相,V 为气相,G1 为硅酸盐玻璃相

照片 3 室温时的情形,第⑩号包裹体的实际长度为 351μm

照片 4 照片 3 中的包裹体在 660℃并淬火的情形,可以看到其中尚有未熔化完的长石类残余物