

缅甸硬玉中的包裹体^{*}

彭卓伦, 彭明生

(中山大学地球科学系, 广东 广州 510275)

摘 要: 显微分析表明, 缅甸硬玉中的包裹体分为 4 种类型: 固体包裹体、流体包裹体、流体—熔融包裹体和熔融包裹体。利用显微红外光谱定性研究流体—熔融包裹体中的物相, 其有机物不只是单一的甲烷相; 用热台测得流体包裹体、流体—熔融包裹体和熔融包裹体的均一温度分别为 290~430、630~720 和 820~910 °C, 熔融包裹体的均一温度代表其成岩的下限温度, 远大于缅甸硬玉所处的低温变质环境。推测硬玉形成与熔体密切相关, 其后受区域变质作用而形成。

关键词: 硬玉; 包裹体; 缅甸

中图分类号: P571; P574 954 文献标识码: A 文章编号: 0529-6579 (2004) 04-0098-04

硬玉中的包裹体研究是探讨硬玉成因的重要手段^[1-4]。崔文元等^[5,6]曾把缅甸硬玉岩硬玉残斑晶体中的流体包裹体分为 2 个类型, 即气—液两相包裹体、气—液—固三相包裹体。通过激光拉曼光谱分析, 得出包裹体的气相成分为 CH₄, 液相为 H₂O, 固相为子矿物硬玉; 据此, 作者推断缅甸硬玉岩可能是在含 H₂O 和 CH₄ 的硬玉质硅酸盐熔体中结晶而成, 为岩浆成因。本文的研究发现, 硬玉中不但存在熔融包裹体, 而且还有锆石固体包裹体。进而对硬玉包裹体的类型、成分、形态特征和均一温度等作了进一步的研究, 结果对探讨硬玉形成的物理化学条件和形成机制, 乃至硬玉矿床的成因等, 应有一定的意义。

1 硬玉中包裹体的特征及分类

硬玉岩样品均来自缅甸帕敢地区, 硬玉中的包裹体一般相对较小, 大者直径约 20 μm , 小者只有 $n \sim 0. n \mu\text{m}$ 。在硬玉岩中一般选较大的硬玉颗粒, 其包裹体分布无规则, 时呈孤立单体, 时而密集出现; 原生包裹体在晶体中的产出部位多沿晶体生长面, 而次生包裹体多沿颗粒边界的短裂隙 (早期次生包裹体) 或重结晶的亚颗粒边界等。

根据镜下研究的结果, 将硬玉中的原生包裹体可分为固体包裹体、流体包裹体、流体—熔融包裹体和熔融包裹体 4 种类型 (图 1)。

1.1 固体包裹体

在硬玉中的固体包裹体大多为硬玉包裹体 (图

1a)。硬玉晶体为柱状的负晶形态, 突起高, 大的可达 80 $\mu\text{m} \times 20 \mu\text{m}$ 。除硬玉包裹体, 尚发现有锆石包裹体 (图 1b)。锆石晶体的大小为 15 $\mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$, 呈四方柱 {100} 和复四方柱 {110} 与不发达的锥面, 与主晶消光不一致; 用电子探针测得晶体的 ZrO₂ 含量为 18.93%, (由于光片表面平度不够, 总百分含量误差较大, 故未能计算晶体化学式)。一般认为, 锆石的晶形与其结晶时的介质环境密切相关, 不同介质条件下可以出现不同的单形组合; 在硅和钾、钠含量较低的中、基性岩或偏中性的花岗岩中, 锆石除见柱面 {110} 或 {100} 外, 往往还出现复四方双锥 {311}, 但锥面 {111} 不发育^[7]。这与本研究镜下所见的锆石形态是一致的。从图 1b 尚可见到, 锆石棱角分明, 晶面平整, 无后期搬运迹象。根据上述特征, 作者初步认为, 锆石可能为岩浆分异早期的产物, 其后在硬玉结晶过程中被包裹。

1.2 流体包裹体

在硬玉中气—液两相的流体包裹体较多 (图 1c、d), 大小一般为 3 $\mu\text{m} \times 6 \mu\text{m} \sim 8 \mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ 。

单相包裹体由于体积太小, 往往难于分清相态。流体包裹体沿硬玉的 c 轴平行分布, 疏密不一, 形态多为长条状, 部分椭圆形。气体颜色偏黑, 估计含有机成分, 气液相态的比例一般气相占 30%, 液相占 70%。

1.3 流体—熔融包裹体

主要由气、液、固三相组成 (图 1e), 其密度

* 收稿日期: 2004—01—04

基金项目: 国家教育部博士点基金资助项目 (20030558005)

作者简介: 彭卓伦 (1970 年生), 女, 博士生; E-mail: eespl@zsu.edu.cn

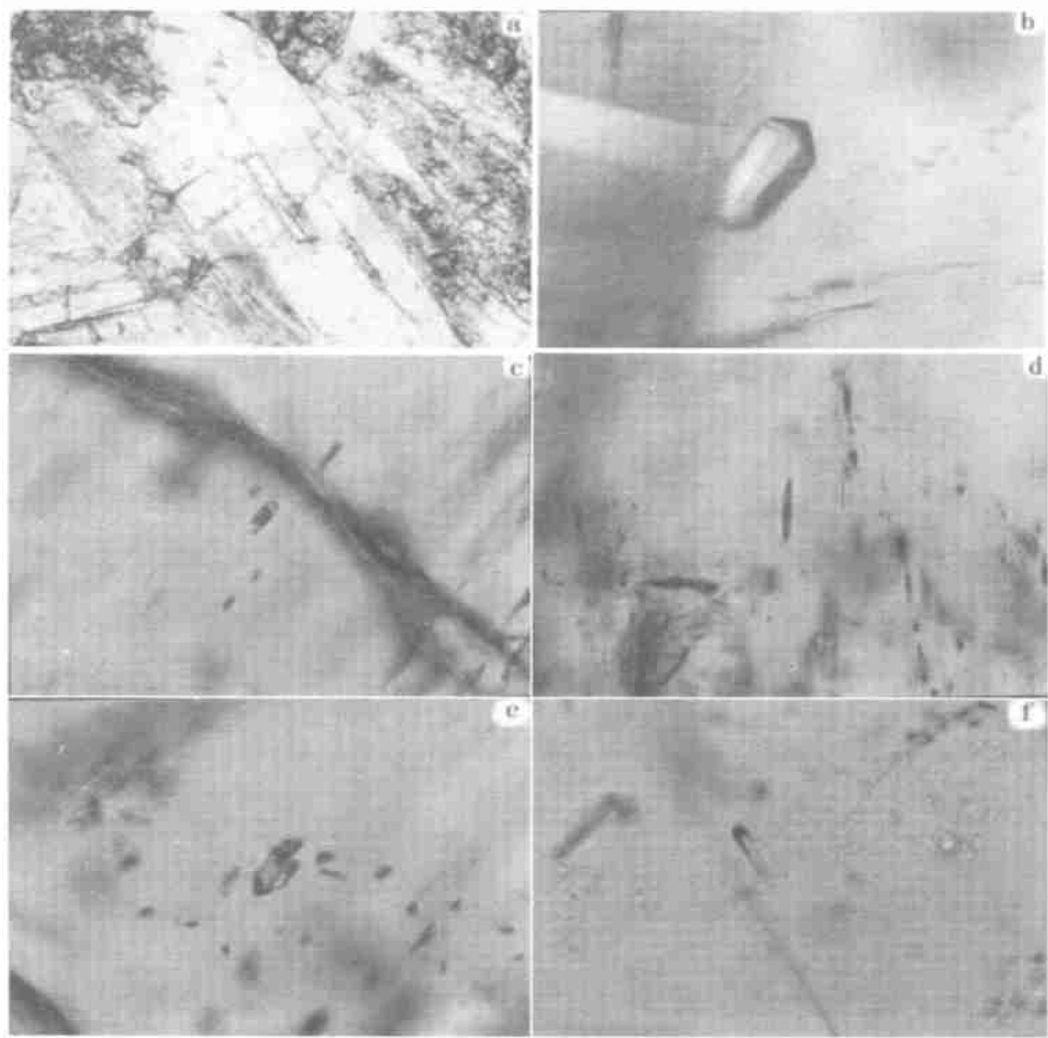


图 1 硬玉中的包裹体

Fig 1 The inclusions in jadeite

- a: 硬玉包硬玉的固体包裹体, 20× 10; b: 硬玉中包锆石的固体包裹体, 40× 10;
c, d: 硬玉中的流体包裹体 (气液两相) 40× 10; e: 硬玉中的流体—熔融包体 40× 10;
f: 硬玉中的熔融包体 40× 10

比气液二相包裹体的大; 包裹体形态不规则, 大小约为 $4\mu\text{m}\times 7\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}\times 10\mu\text{m}$; 气相呈分散状态分布, 很少单独出现; 晶质相由硅酸盐组成, 非晶质相可能为铁质物, 其相态特征可能反映了岩浆的不混溶性。

1.4 熔融包裹体

熔融包裹体由气相和晶质硅酸盐相组成, 气相物质颜色偏黑, 沿包裹体边界聚集; 晶质光性特征似乎与主体硬玉一致。其外形呈长柱状或不规则状, 大小约为 $2\mu\text{m}\times 5\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}\times 10\mu\text{m}$ (图 1f)。

2 硬玉中包裹体的傅立叶变换显微红外光谱分析

目前对单个包裹体的成分分析多采用多频道激

光拉曼显微探针、电子探针和质子探针, 以及扫描电镜与能谱相结合等方法。本文则采用傅立叶变换显微红外光谱定性研究硬玉中的包裹体, 以确定其内物相的组成, 获得了较满意的结果, 尤其是气液相, 效果更佳。

2.1 测试条件

采用 Bruker 公司的 Equinox 55 的傅立叶变换红外光谱仪, 扫描次数为 128, 测定时仪器的分辨率为 4cm^{-1} , 显微光斑大小为 $20\mu\text{m}$ 。测试前将光薄片清洗干净, 并低温烘干 24 h, 然后把所测试的流体—熔融包体 (图 1e) 移入光斑中心位置进行测试。

2.2 结果分析

图 2 是流体—熔融包体傅立叶变换显微红外光

谱测试所得的谱图。从图可见：

(1) 在 $3\,560\text{ cm}^{-1}$ 和 $3\,484\text{ cm}^{-1}$ 处应为水分子的伸缩振动；在 $1\,640\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\,485\text{ cm}^{-1}$ 处则应为水分子的弯曲振动，因两者吸收强烈，说明应是游离水分子所引起。

(2) 在 $2\,913.0\text{ cm}^{-1}$ 处出现吸收峰，此为 C—H 键的反对称伸缩所产生； $2\,043.5\text{ cm}^{-1}$ 和 $1\,955.7\text{ cm}^{-1}$ 为 C—C 键的反对称和对称伸缩振动，而 $1\,386.6\text{ cm}^{-1}$ 为 C—H 的对称变形振动。根据这些基团推断，硬玉包裹体所含的有机物，可能不只是单一的甲烷相。

(3) 在 $1\,100\sim400\text{ cm}^{-1}$ 范围内的谱峰与硬玉的特征峰一致，没有发现异常峰，但不排除本底的影响，但也可说明包裹体中的结晶相子矿物与主体一致为硬玉。

从上可见，硬玉中的包裹体成分与前人的结果大体一致：液相为 H_2O ；气相富含有机物，但可能不是单一的甲烷相；固相子矿物应为硬玉。上述结果说明用傅立叶变换显微红外光谱来定性鉴定包裹体的物相组成是可行的。

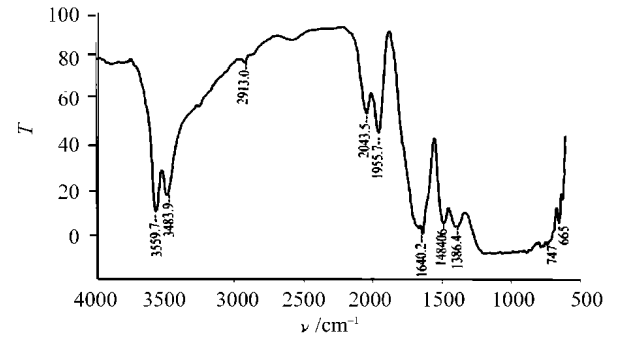


图 2 硬玉中的流体—熔融包裹体
傅立叶变换显微红外光谱图

Fig. 2 Micro FT-IR spectroscopy of
the fluid melt inclusion in jadeite

3 包裹体测温

在德国莱兹 (Leitz) 1350 热台上测定包裹体的均一化温度。测温时从低到高， $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下升温速率为 $10\sim20\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，此温度范围可能产生热扩张现象；当温度在 $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上时通氮气，升温速率降至 $2\sim5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，并每升高 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恒温 20 min ，甚至数小时，每个包裹体测试时间 $n\sim12\text{ h}$ 。此法比较直观、准确，并易于在实验全过程中了解相态的平衡与温度的关系。按上述方法获得的包裹体相态及均一温度如下表 (表 1)。

4 讨 论

硬玉过去通常视为典型的低温高压变质矿物。但有报道表明它可以产于高温高压条件下，例如在大别山高压变质杂岩中的硬玉^[8]，以及在俄罗斯的罗蒙诺索夫金伯利岩管中的硬玉，后者作为超基性岩原生矿物之一附着于金刚石的表面^[9]。本次研究发现硬玉岩含有锆石包裹体，锆石形态标型指示硬玉的形成与可能原始岩浆有关；对包裹体测温获得熔融包裹体的均一温度为 $820\sim910\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，如果这一温度代表了成岩的下限温度，那么硬玉形成的温度远大于其所处的低温变质带形成时的环境温度。据此可进一步说明硬玉的形成可能与熔体的活动有关，根据现有研究^[9]，硬玉可从硬玉质的硅酸盐熔体中结晶，在无水的条件下，为 $t>1\,250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $p>2.5\text{ GPa}$ ；在有水的条件下， $L=\text{Jd}+\text{V}$ 所需的是 $t>650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ， $p>1.5\text{ GPa}$ 。缅甸硬玉中包裹体的组成为水、有机物和硬玉，与有水体系类似，而 $L=\text{Jd}+\text{V}$ 反应的平衡相温压曲线与俯冲带内的地热梯度相近。从本次研究样品的硬玉中发现的流体、流体—熔融、熔融包裹体和锆石固体包裹体的研究来

表 1 硬玉中包裹体的相态及均一温度¹⁾

Tab. 1 Phases and homogenous temperatures of inclusions in jadeite

样品号	主矿物	包裹体类型	相态组成	均一温度/ $^{\circ}\text{C}$	始融温度/ $^{\circ}\text{C}$
Jd-23	硬玉	流体	L60; V40	410	
Jd-23	硬玉	流体	L70; V30	345	
Jd-17	硬玉	流体	L65; V35	430	
Jd-17	硬玉	流体	L68; V32	290	
Jd-23	硬玉	流体-熔融	V42; L30; C _S 28	630	
Jd-23	硬玉	流体-熔融	V39; L28; C _{Si} 28; A _{Fe} 5	720	
Jd-17	硬玉	流体-熔融	V40; L37; C _S 23	660	
Jd-23	硬玉	熔融	C _{Si} 78; V22	910	700
Jd-23	硬玉	熔融	C _{Si} 70; V30	820	680
Jd-17	硬玉	熔融	C _{Si} 75; V25	850	700

1) L 为液相，V 为气相，C_S 为晶质硅酸盐，A_R 为非晶铁质物

看，该硬玉可能是形成于超基性—基性熔浆分异作用的晚期，其后受区域变质作用的影响，使硬玉矿物发生变质如重结晶、交代、碎裂等，从而形成硬玉岩复杂的结构构造和矿物组成；而正是这些复杂的变质作用，才使硬玉成为高质量的翡翠玉。

致谢：陈国能教授为本文提供了不少宝贵意见并进行了文字修饰，特此致谢。

参考文献：

[1] 卢焕章,李秉伦. 包裹体地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 1990.
[2] HTEIN W. Mineral and chemical compositions of jadeite jade of Myanmar[J]. J Gemmology, 1994, 24(4) : 269— 276.
[3] 魏家秀,李淑玲. 翡翠中的包裹体及其品级的激光拉曼

谱学研究[J]. 云南地质, 1998, 17(3, 4) : 263— 268.
[4] 丘志力. 翡翠中的包体及其对鉴定 A、B、C 货的意义[J]. 中国宝石, 1997(1) : 9— 13.
[5] 崔文元,施光海,王长秋,等. 缅甸帕敢地区硬玉岩石中流体包裹体[J]. 科学通报, 2000, 45: 1433— 1437.
[6] 崔文元,王时麒,杨富绪. 缅甸翡翠中多相包裹体的发现及其意义[J]. 中国宝石, 2000(2) : 139— 143.
[7] 王濮,潘兆橹,翁玲宝,等. 系统矿物学[M]. 北京: 地质出版社, 1987.
[8] 刘晓春,吴雅先,张培萍,等. 大别山高压变质杂岩中的硬玉[J]. 矿物学报, 1993, 13(4) : 341— 345.
[9] MAKEEV A B, BRYANCHANINOVA N I. 俄罗斯地台北缘和东北缘的曲面金刚石[J]. 现代地质, 2001, 15(2) : 124— 130.

Inclusions in Jadeite from Burma

PENG Zhuo lun, PENG Ming sheng

(Department of Earth Sciences, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Based on the investigation, inclusions in jadeite from Burma are divided into four types. Micro IR spectroscopy is used to analyze the components of the fluid melt inclusion, in which organic matter is not unique methane phase. The homogeneous temperatures of fluid, fluid melt and melt inclusions are 290 ~ 430, 630 ~ 720 and 820 ~ 910 °C, respectively. The homogeneous temperature of melt inclusions represents the low limit of formation temperature of the jadeite rock, which is much higher than that indicated by low temperature environment of metamorphic rocks. Jadeite formation may be intimately relative to the melt.

Key words: jadeite; inclusion; Burma

(上接第 97 页)

The Quaternary *Ailuropoda Stegodon* fauna of Lechang, Guangdong

JIN Jian hua¹, WANG Ying yong¹, ZHANG Zhen hong²

(1. School of Life Sciences, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China;

2. Lingnan Research Centre of Archaeology, Sun Yat sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: An assemblage of Quaternary fossil mammals is collected from Lechang of Guangdong Province, China. Fossil mammals are listed as follows: Rodentia: *Hystrix subcristata* Swinhoe, *Atherurus* sp., *Rhizomys* sp. and *Rattus* sp.; Carnivora: *Ailuropoda melanoleuca fovealis* Matthew et Granger, *Ursus thibetanus* Cuvier and *Panthea tigirs* Linnaeus.; Proboscidea: *Stegodon orientalis* Owen; Perissodactyla: *Rhinoceros sinensis* Owen; and Artiodactyla: *Sus* sp., *Sus australis* Han, *Cervus unicolor* Kerr, *Pseudaxis* sp., *Muntiacus* sp., *Bubalus* sp., and *Ovis* sp.. Based on its composition the fossil assemblage should belong to the *Ailuropoda Stegodon* fauna from South China and the age of this fauna belongs to the late Middle Pleistocene or early Late Pleistocene.

Key words: *Ailuropoda Stegodon* fauna; Quaternary; Lechang of Guangdong