

# 火成岩的晶体群与成因矿物学展望

罗照华<sup>1</sup> 杨宗锋<sup>1</sup> 代 耕<sup>2</sup> 程黎鹿<sup>1</sup> 周久龙<sup>1</sup>

(1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

2. 河南省国土资源科学研究院, 河南 郑州 450053)

**摘要:** 岩浆系统物理过程的研究进展导致了岩浆系统成熟度的概念, 因而认识到火成岩中的晶体并非全部由寄主熔体晶出。本文将火成岩中的矿物晶体按其加入岩浆系统的方式划分为 3 种晶体群: 固体晶体群、熔体晶体群和流体晶体群。固体晶体群系指呈固态加入岩浆的晶体群, 包括残留晶亚群和捕虏晶亚群; 熔体晶体群系指从熔体中晶出的晶体群, 包括从不同深度水平岩浆房中晶出的晶体亚群(岩浆房晶体亚群)、岩浆上升途中晶出的晶体亚群(通道晶体亚群)、在岩浆系统中长期循环的晶体亚群(循环晶亚群)和岩浆侵位后晶出的晶体亚群(基质晶亚群)。流体晶体群系指从流体相晶出的晶体群, 包括从超临界流体晶出的晶体亚群(超临界晶体亚群)、从气体晶出的晶体亚群(凝聚晶体亚群)和从热液晶出的晶体亚群(热液晶体亚群)。这种划分方案为火成岩成因矿物学研究打开了新的窗口, 阐明不同晶体群的标型特征和形成条件是成因矿物学研究的重要任务。理论上, 残留晶与原生岩浆保持热力学平衡, 捕虏晶一般与岩浆不平衡, 熔体晶体群在岩浆系统演化的特定阶段上与岩浆保持热力学平衡, 而流体晶体群则一般不与岩浆平衡, 但超临界晶体亚群可部分与岩浆平衡。各种晶体群在火成岩中的保存程度与岩浆系统的存续时间尺度和晶体吸收速率紧密相关。在快速上升和固结的岩浆系统中, 所有的晶体群都有可能得到保存。相反, 在缓慢上升和固结的岩浆系统中, 有可能仅保留有基质晶亚群。因此, 晶体群的数量和颗粒大小可以用来定性评价岩浆系统存活的时间尺度, 量化结构分析将成为成因矿物学的重要研究内容。

**关键词:** 晶体群; 火成岩; 成因矿物学; 量化结构分析; 岩浆系统成熟度

**中图分类号:** P588.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2013)01-0176-06

众所周知, 岩浆形成于地壳和上地幔的部分熔融, 其标志是源区岩石的物理状态达到其固相线位置。因此, 除了源区岩石的物质组成之外, 岩浆起源的基本控制因素是压力、温度和挥发分<sup>[1]</sup>。相应地, 部分熔融过程被划分为减压熔融、升温熔融和注水熔融。现代岩石学认为, 部分熔融一般始于含挥发分(以 H<sub>2</sub>O 或其变种为主)矿物的分解。由于熔体溶解挥发分的能力大于固体, 矿物分解产生的挥发分溶解在熔体中。随着部分熔融程度的增加, 进入熔体的无水组分越来越多。因此, 天然岩浆必然含有少量挥发分(流体), 且低温岩浆比高温岩浆含有更多挥发

分。此外, 无论是减压还是降温都可能导致岩浆的结晶作用, 定位后的岩浆常含有一定数量的晶体。据此, 岩浆被定义为高温炽热的熔体, 含或不含少量固体(晶体)和/或流体(挥发分), 是地壳和上地幔部分熔融的产物。但是, 在大多数研究中, 岩浆实际上被等同于熔体, 晶体和流体被作为岩浆固结过程的产物。

在这种模型中, 矿物的成因信息一般只用来探讨岩浆系统演化全过程的液相线与固相线之间的部分。这种处理手法忽略了岩浆形成过程和岩浆期后过程的重要性, 以及它们与岩浆过程的有机联系。越来越多的证据表明, 火成岩中的矿物组成比理想系

收稿日期: 2012-10-06; 改回日期: 2013-01-10

基金项目: 科技部国际科技合作项目(2010DFB23390)及中国地质调查局地质调查项目(1212011220921, 1212011121266, 1212011121072, 1212011121075)联合资助。

作者简介: 罗照华, 男, 1956 年生, 教授, 博士生导师, 矿物岩石矿床学专业, 火成岩岩石学、岩浆活动与成矿作用、区域岩石大地构造研究方向;  
E-mail: luozh@cugb.edu.cn。

浆预期的要复杂得多<sup>[2]</sup>,不仅含有从熔体晶出的矿物,而且含有从流体晶出的矿物和从源区岩石继承的难熔残余。因此,矿物成因信息有可能用来揭示岩浆系统演化的全过程。本文初步综述了火成岩矿物学研究的新证据,提出了一个晶体群分类,供同行参考。

### 1 岩浆系统的时空结构

为了阐明火成岩的矿物群,首先简要探讨一下岩浆系统的时空结构,亦即岩浆系统的性质随时间和空间位置的改变。理想条件下,完整的岩浆系统演化历史始于源区的重力不稳定性,因为无论是升温还是注水都可以导致原岩因体积增加而获得浮力。因此,升温熔融和注水熔融与减压熔融相似,部分熔融发生之前原岩必然经历一个减压隆升过程。如果源区岩石与围岩之间不发生能量交换,这样的过程称为绝热隆升,亦即系统内的能量耗损仅用于原岩隆升。

假定源区的初始状态(平衡态)位于深度-时间坐标系(图 1)中的 o 点。外部能量的注入使得源区获得浮力(重力不稳定),进而导致原岩逐渐远离平衡态(线段 A)。由图 1 可见,线段 A 向时间增加、深度减小的方向延伸,表示随着时间的增加源区的埋藏深度逐渐变浅。一旦源区达到 a 点,即达到固相线位置,原岩发生部分熔融产生熔体相(热力学不平衡)。按照复杂系统的术语,系统在 a 点发生第一次分岔(或崩塌)。换句话说,岩浆系统不再沿着线段 A 的延长线(A')演化,而是裂解为两个演化方向截然相反的子系统。由于部分熔融是一个吸热过程和系统体积增加的过程,低固相线原岩温度和埋藏深度随着部分熔融程度的增加而减小(线段 B)。相反,高固相线原岩趋于下沉(线段 B'),温度不变或变化不显著。随着部分熔融程度的增加,源区与围岩的密度差越大,上升速度加快。反过来,源区的隆升又促使部分熔融程度快速增加。因此,部分熔融发生在一个深度变化的柱形区域,后者称为熔融柱(melting column)。以这种方式形成的岩浆可称为柱岩浆(column magma)。在传统岩石学理论中,岩浆一般认为产生于一个确定性的深度范围。如果将这个深度范围抽象为一个点,则这样的岩浆可称为点岩浆。柱岩浆与点岩浆的根本区别在于部分熔融过程中晶体/熔体分配系数随温度和压力变化。因此,柱岩浆与源区矿物的平衡关系总是处于不断的变化之中,

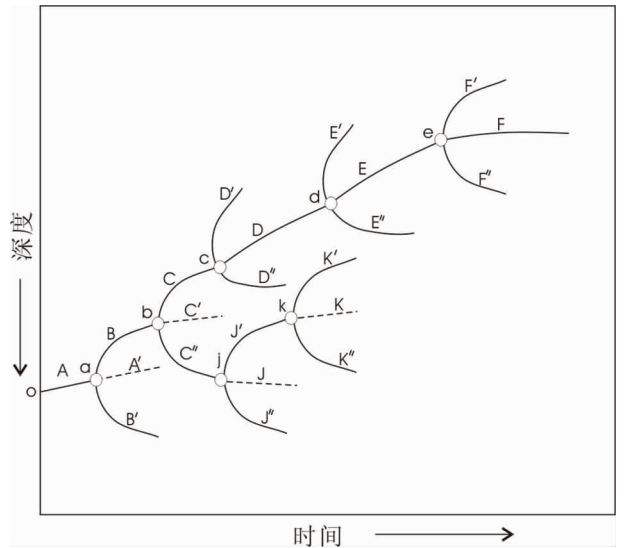


图 1 岩浆系统的理想时空结构

Fig.1 The ideal spatio-temporal structure of a magma system

直到岩浆分凝为止(b 点)。可见,在熔融柱不同深度水平上抽取的岩浆具有不同的成分特征,侵位后可形成一个成分连续的火成岩系列<sup>[3]</sup>。这种成分变化既是熔融条件改变的结果,也与部分熔融程度有关。但是,如果柱岩浆在确定的深度上实现分凝和均一化,其成分特征与相应深度上的点岩浆不可区分。

岩浆分凝导致系统演化的第二次分岔(b 点),裂解为主要由熔体组成的岩浆系统和主要由难熔残余组成的固体系统。可见,分凝产生的岩浆应当是含有晶体的。但是,这种晶体不是由岩浆晶出的,而是源区岩石的残留晶。分凝的岩浆具有更小的密度,趋于上升(线段 C),而难熔残余则趋于下沉(线段 C')。岩浆上升过程也伴随着温度下降,可发生减压结晶作用和降温结晶作用。岩浆上升达到中浮面位置(c 点)时,发生岩浆侵位(线段 D)。岩浆侵位过程可能伴随着分异作用,密度较小部分相对上升(线段 D'),而密度较大的部分相对下沉(线段 D'')。岩浆侵位过程完成(d 点)以后,因冷却而开始主要固结阶段(线段 E)和分离结晶作用,密度较小的晶体倾向于堆积在岩浆体上部(线段 E'),而密度较大的晶体倾向于堆积在岩浆体的下部(线段 E'')。随着岩浆冷却,固相线面从岩浆体边缘逐步向中心推进。当固相线面推进到岩浆体中心时(e 点),意味着岩浆系统绝大部分转变为固体,只有少量的流体相犹存。岩浆侵入体继续冷却时,流体开始相分离过程,排出部分气体(线段 F'),晶出部分晶体(线段 F''),部分形

成水流体(线段 F)。

需要注意的是,图 1 中的每一个点都相应于一个事件,而每一个线段则相应于一个过程。可见,事件中止了事件发生前的过程并触发了新的过程,而过程则孕育了新的事件。据此,岩浆系统是一种复杂性动力系统。理想地,可以事件为界将岩浆系统的演化划分为六个阶段:源区重力失稳阶段(线段 A)、源区热力学失稳阶段(部分熔融阶段)(线段 B)、岩浆上升阶段(线段 C)、岩浆侵位阶段(线段 D)、岩浆固结阶段(线段 E)和流体活动阶段(线段 F)。前两个阶段没有形成具有实际意义的岩浆体,可称为前岩浆阶段;上升阶段、侵位阶段和固结阶段直接与岩浆相联系,可归属为岩浆阶段;而流体活动阶段则称为后岩浆阶段或岩浆期后阶段。实际上,依外部条件的变化,某些阶段可能缺失,而另一些阶段则可能重复。例如,岩浆上升过程中可能反复遭遇负压区,导致岩浆震荡性上升和侵位。因此,实际岩浆系统的时空结构要比图 1 表示的复杂得多。

## 2 火成岩中的晶体群

岩浆系统演化历史的矿物学再造一般以矿物结晶习性、成分变化和组合方式为依据,矿物共生组合和矿物世代关系是经常讨论的话题。但是,这种讨论以所有矿物都来自岩浆的结晶作用为前提,或者说仅仅涉及到岩浆系统演化的岩浆阶段。如前所述,前岩浆阶段是固体转变为液体的过程,不涉及岩浆的结晶作用。据此,传统理论一般假设岩浆系统的初始状态位于固相线温度之上,不含有从岩浆晶出的矿物晶体;同样,后岩浆阶段的晶体是从流体中产生,也不涉及岩浆的结晶作用。因此,岩浆系统演化历史的矿物学再造一般仅涉及岩浆阶段。但是,由于岩浆的黏度较大及岩浆与源区矿物的密度差较小,岩浆分凝过程中往往有源区矿物(残留晶)进入岩浆体中。极端情况下,火成岩中甚至可见高达 70vol.% 的残留晶<sup>[4]</sup>。同样,流体的结晶作用也不总是发生在后岩浆阶段。由于流体的溶解能力随温度和压力降低而减小,含有较多流体的岩浆系统往往在岩浆阶段就开始了流体的结晶作用。因此,从源区继承的残留晶、从熔体晶出的晶体和从流体晶出的晶体常常混合在一起,构成不同成因的晶体群(crystal population)。此外,岩浆上升和侵位过程中还可以从围岩捕获一些晶体。可见,晶体群的概念不同于矿物

组合,包括了以不同方式加入岩浆系统的矿物晶体。因此,火成岩中的矿物晶体可以按其加入岩浆系统的方式划分为三种晶体群:固体晶体群(solid-crystal population)、熔体晶体群(melt-crystal population)和流体晶体群(fluid-crystal population)。

### 2.1 固体晶体群

系指呈固态加入岩浆的晶体群,包括残留晶亚群和俘虏晶亚群。

残留晶(residual crystal)是源区岩石的主要组成矿物,其含量在源区岩石中大于共结比。在部分熔融过程中,残留晶的易熔组分优先进入熔体,但其难熔组分依然保持固体状态。因此,残留晶应当与原生岩浆处于热力学平衡状态,残留晶的难熔组分含量随着部分熔融程度的增加而增加。如果残留晶未在岩浆冷却过程中发生动态重结晶作用,理论上应当可见海绵状构造(图 2-a)。据此,利用残留晶的成因矿物学信息可以再造岩浆的产生过程和原生岩浆的组成。

俘虏晶(xenocryst)是岩浆上升和侵位过程中从围岩捕获的晶体,一般不与熔体呈热力学平衡。因此,俘虏晶最常见的结构是溶蚀结构(图 2-b)。这种结构特征与熔体晶体的结构特征类似,需要通过热力学平衡分析加以区分。

### 2.2 熔体晶体群

系指从熔体中晶出的晶体群,包括从不同深度水平岩浆房中晶出的晶体亚群(岩浆房晶体亚群)、岩浆上升途中晶出的晶体亚群(通道晶体亚群)、在岩浆系统中长期循环的晶体亚群(循环晶亚群)和岩浆侵位后晶出的晶体亚群(基质晶亚群)。

由于围岩温度低于岩浆,岩浆驻留于任一岩浆房都会被冷却,因而发生结晶作用。岩浆的过冷度与岩浆房深度成反比,深位岩浆房可以晶出粒径较大的晶体,后者一般称为斑晶。在火山岩中,斑晶一般形成于边缘岩浆房中。根据过饱和-成核-耗尽生长机制,火成岩中的斑晶常具有断续的晶体生长过程,一般具有明显的成分环带和环带间杂质(图 2-c)。但是,如果晶体生长速率极小,也可以形成无成分环带的晶体(图 2-d)。

岩浆的结晶作用也可以发生在上升过程中,这种结晶作用称为变压结晶作用(polybaric-crystallization)。在岩浆运动过程中,由于晶体与熔体的相对运动,晶体周边的结晶组分可以不被耗尽。在这种情况下,晶体的生长没有间断。但是,由于温度、

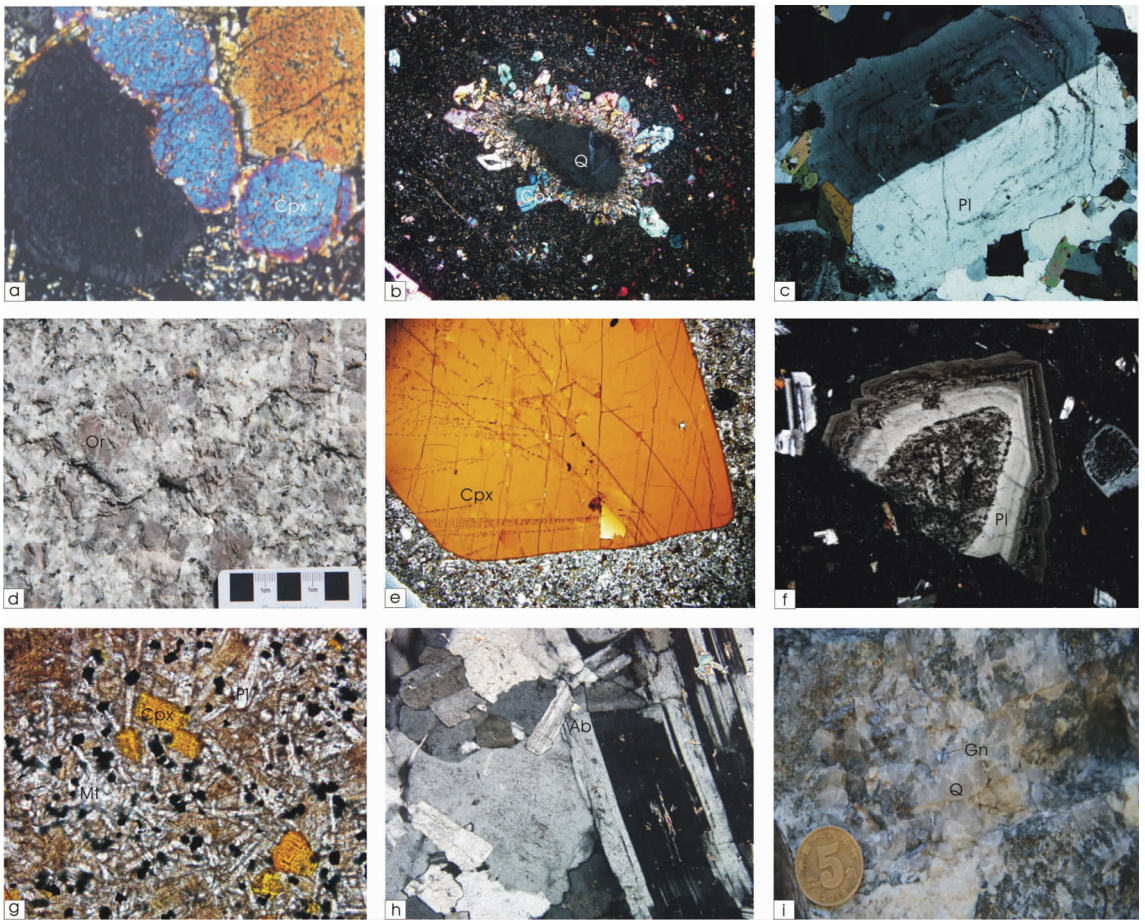


图 2 火成岩中的晶体群

固体晶体群:a—残留晶,新疆托云玄武岩中的辉石岩包体,辉石晶体具有海绵边和“麻点状”构造;b—捕虏晶,内蒙天和永玄武岩中的石英捕虏晶,与熔体反应产生由辉石类矿物组成的反应边;熔体晶体群:c—岩浆房晶体,北京房山岩体中的斜长石斑晶,具环带结构,并含有环带间“杂质”;d—岩浆房晶体,河南花山岩体中的钾长石斑晶,不具有成分环带;e—岩浆通道晶体,新疆托云玄武岩中的辉石巨晶,具成分环带,但不含环带间“杂质”;f—循环晶,云南腾冲火山岩中的斜长石,具有两层分解环带和振荡环带;g—基质晶,内蒙天和永玄武岩的基质结构,微晶呈共结关系,晶间含有填隙橙玄玻璃;流体晶体群:h—超临界晶体,河南尚古寺岩体的碱长花岗岩,发育聚片双晶的钠长石(超临界晶体)与钾长石(熔体晶体)和石英呈共结关系;i—凝聚晶体和热液晶体,河南苍沟熊耳群火山岩中的石英脉,含有角闪石、石英和方铅矿,部分为凝聚晶体,部分为热液晶体。Cpx—单斜辉石;Q—石英;Pl—斜长石;Ab—钠长石;Or—钾长石;Gn—方铅矿

Fig.2 The crystal populations of igneous rocks

The solid-crystal population: a—residual crystals, from a pyroxenite xenolith in the Tuoyun basalt, Xinjiang, in which sponge rings and "pitting" structure are developed in the pyroxenes; b—a quartz xenocryst, which has reacted to the basaltic magma from Tianheyong, Inner Mongolia, and produced react ring consisted of pyroxenes—The melt-crystal population: c—a chamber crystal with zoned structure and impurity materials between zones, from the plagioclase phenocrysts of the Fangshan intrusion, Beijing; d—the chamber crystals without zoned structure, which are the potassic feldspar phenocrysts from the Huashan intrusion, Henan; e—a channel crystal with gradational zones, which is the pyroxene megacryst from the

Tuoyun basalt, Xinjiang; f—an plagioclase antecryst from the Tengchong volcanic rocks, Yunnan, which has two decomposed zones and two oscillating zones; g—the matrix crystals from the Tianheyong basalt, Inner Mongolia, in which the microlites are in equilibrium relation, and there are some interstitial basaltic glasses—The fluid-crystal population: h—the super-critical crystals from the alkaline feldspar granite in the Shanggusi intrusion, Henan, are albites which crystallized contemporaneously with the potassic feldspars and quartzes (melt crystals); i—the condensation crystals (the hornblende and part of the quartz) and the hydrothermal crystals (part of the quartz and galena) are in the quartz vein—Cpx—clinopyroxene, Q—quartz, Pl—plagioclase, Ab—albite, Or—potassic feldspar, Gn—galena

压力的变化,晶体仍具有成分环带,但一般没有晶体间杂质(图 2-e)。

循环晶(antecryst)这个术语来自 Wes Hildreth (2001)在 Penrose 会议上的一个报告“Longevity and Dynamics of Rhyolitic Magma Systems”,用于表示在卷入寄主岩浆之前经历过一次或多次再循环但起源于岩浆系统之内的晶体<sup>[2]</sup>。目前,这个术语得到了越

来越多的引用。根据 Jerram and Martin,该术语用来定义“再结合”进最终岩浆中的晶体<sup>[2]</sup>;它们不同于捕虏晶(xenocryst),因为它们是从最终岩浆的先驱中结晶的,并因此直接与活动岩浆系统共生。在喷发或就位到最后阶段被结合进来之前,它们可能经历过不同的岩浆重载事件,或储存在岩浆堆晶中。因此,循环晶可以用作整个岩浆系统关键演化阶段的

指纹(图 2-f)。

基质晶(matrix crystal)是岩浆最终定位以后晶出的晶体,其粒径一般较小,火山岩中尤其如此。因此,火山岩中的基质晶常称为微晶(microlite)。但在深成岩中,基质晶的粒径可达毫米级。严格说来,使用微晶这一术语<sup>[2]</sup>并不恰当。基质晶形成于岩浆固结的晚期阶段,常具有共结结构,或充填在斑晶的间隙中(图 2-g)。

### 2.3 流体晶体群

系指从流体相晶出的晶体群,包括从超临界流体晶出的晶体亚群(超临界晶体亚群)、从气体晶出的晶体亚群(凝聚晶体亚群)和从热液晶出的晶体亚群(热液晶体亚群)。

超临界流体具有很强的溶解能力,且其溶解能力随温度和压力的增加而增强。因此,岩浆上升过程中可能发生流体的减压结晶作用,固结过程中则发生降温驱动的结晶作用。这种结晶作用主要发生在岩浆期后阶段,部分发生在岩浆阶段。正因为如此,流体过饱和岩浆系统中常见流体晶体与熔体晶体形成共结结构(图 2-h)。

低于临界点条件下,超临界流体相分离形成气相和液相。气相溶解物质的能力远低于超临界相和液相,因而相分离过程可导致晶体的析出。此外,气相和液相溶解物质的能力也随温度降低而下降,暗示冷却过程可导致气体和热液的结晶作用(图 2-i)。

## 3 成因矿物学展望

上述晶体群及其亚群通常不同时出现在火成岩样品中。理论上,残留晶与原生岩浆保持热力学平衡,捕虏晶一般与岩浆不平衡,熔体晶体群在岩浆系统演化的特定阶段上与岩浆保持热力学平衡,而流体晶体群则一般不与岩浆平衡,但超临界晶体亚群可部分与岩浆平衡。因此,火成岩样品中晶体群的保有数量与岩浆系统的成熟度有关。

岩浆系统的成熟度(maturity of magmatic system)可以表述为岩浆体内各组成部分达到热力学平衡的程度。由于岩浆系统中可能发生的潜在过程受控于不同的因素,某些过程的发生可以抑制或激励另一些过程。例如,晶体的生长受控于组分的扩散速率,后者又受控于岩浆的黏度和化学梯度,但岩浆体的冷却过程则主要取决于岩浆体积及其与围岩的热交换。因此,岩浆的快速冷却可阻止晶体的成核

和生长。在岩浆固结条件改变的条件下,快速冷却也可以阻止先存晶体的再吸收。一种极端情况,火成岩中只含有基质晶亚群的矿物,组成矿物形成共结结构;另一种极端,火成岩中含有大量的残留晶。例如,金伯利岩含有大量来自源区岩石的橄榄石,学者们甚至怀疑是否有金伯利岩岩浆的存在,或将其定义为熔体、固体和流体的混合物<sup>[4-5]</sup>。

火成岩中含有不同成因的晶体群这一事实对基于全岩样品分析的流行地球化学解释提出了挑战,却为岩石学和成因矿物学研究打开了新的窗口。基于晶体群的概念,火成岩的岩石学和矿物学研究将可以提供更多的成因信息,包括前岩浆阶段和后岩浆阶段岩浆系统的演化。因此,通过矿物学研究有可能再造岩浆活动的动力学背景和岩石圈-软流圈系统的物质结构。同时,流体矿物群的研究可以揭示岩浆阶段向流体阶段转换的机制,进而揭示岩浆相关矿床的形成机制。但是,相关的研究才刚刚开始,有许多细节问题有待进一步研究解决。可以肯定的是,阐明不同晶体群的标型特征和形成条件将是成因矿物学研究的重要任务。此外,晶体群的数量、性质和粒度分布可以用来定性评价岩浆系统存活的时间尺度,定量化结构分析将成为成因矿物学的重要研究内容。

然而,我们对晶体群这一概念的科学意义和应用价值所知甚少。在此作一简述,目的仅仅是为了引起同行的关注,推动火成岩晶体群的研究。

## 4 结 论

综上所述,可以得出以下两点结论:

(1) 火成岩的矿物组成比传统理论中阐述的要复杂得多,可以划分为 3 种晶体群和 9 种晶体亚群。每一个晶体群和晶体亚群中的晶体具有其特定的矿物学和岩石学特征,可用于追索岩浆系统演化的全过程。

(2) 晶体群的岩石学和成因矿物学研究对流行的全岩地球化学解释提出了挑战,但对于全面理解岩浆系统的演化具有重要意义。流行的地球化学解释一般建立在理想系统的基础上,没有考虑到物理过程对化学过程的制约关系,所导出的结论仅表明了系统的平均性质。晶体群的研究将可以揭示岩浆系统演化的具体路径。

### 参考文献(References):

[1] 罗照华,黄忠敏,柯珊.花岗岩岩石的基本问题 [J].地质论评,

- 2007, 53(Supp.):180–116.
- Luo Zhaohua, Huang Zhongmin, Ke Shan. An overview of granitoid [J]. *Geological Review*, 2007, 53 (Supp.):180–226 (in Chinese with English abstract).
- [2] Jerram D A, Martin V M. Understanding crystal populations and their significance through the magma plumbing system[C]//Annen C, Zellmer G F (eds.) *Dynamics of Crustal Magma Transfer, Storage and Differentiation*. Geological Society, London, 2008, Special Publications 304, 133–148.
- [3] 杨宗锋, 罗照华, 张华锋, 等. 内蒙古天和永新生代玄武岩成因及其地质意义[J]. *地学前缘*, 2009, 16(2):90–106.
- Yang Zongfeng, Luo Zhaohua, Zhang Huafeng, et al. Petrogenesis of Cenozoic basalts of Tianheyong, Inner Mongolia, and its geological implications [J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(2):90–106 (in Chinese with English abstract).
- [4] Patterson M, Francis D, McCandless T. Kimberlites: Magmas or mixtures? [J]. *Lithos*, 2009, 112S:191–200.
- [5] 池际尚, 路凤香. 华北地台金伯利岩及古生代岩石圈地幔特征[M]. 北京: 科学出版社, 1996:1–292.
- Chi Jishang, Lu Fengxiang. Kimberlites in the North China Platform and its Features of Paleozoic Lithosphere Mantle [M]. Beijing: Science Press, 1996:1–292 (in Chinese).

## Crystal populations of igneous rocks and their implications in genetic mineralogy

LUO Zhao-hua<sup>1</sup>, YANG Zong-feng<sup>1</sup>, DAI Geng<sup>2</sup>, CHENG Li-lu<sup>1</sup>, ZHOU Jiu-long<sup>1</sup>

(1. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

2. *Scientific Academy of Land and Resources of Henan, Zhengzhou 450003, Henan, China*)

**Abstract:** The new concept of maturity of the magma system emerges from the study of the physical processes of magmatic systems, from which it is recognized that not all of the crystals in igneous rocks are crystallized from their host magma. According to the ways of adding crystals to the magmatic system, the crystals in igneous rocks can be divided into three populations: solid-, melt- and fluid-crystal populations. The solid-crystal population means that the crystals exist in solid state before they are added into the magmatic system, including residual crystal sub-population and xenocryst sub-population. The melt-crystal population consists of the crystals crystallized from a melt, including crystals from the magma chambers at different depths (chamber crystal sub-population), crystals from magma conduits (channel crystal sub-population), crystals that have crystallized from progenitors of the final magma and have been ‘reincorporated’ into the final magma (antecryst sub-population), and crystals that have been crystallized after magma emplacement (matrix crystal sub-population). The fluid-crystal population is used to define crystals separated out from fluids, including crystals from the super-critical fluid (super-critical crystal sub-population), from vapor (condensation crystal sub-population), and from hydrothermal liquid (hydrothermal crystal sub-population). Such a division opens a new window for the future of genetic mineralogy of igneous rocks. Accordingly, an important duty of genetic mineralogy is to clarify the typical characteristics of various crystal populations and their forming conditions. Theoretically, the residual crystal is in thermodynamic equilibrium with the primary magma; the xenocryst is generally in disequilibrium with the host magma; the melt-crystal is in equilibrium with the magma produced at a special stage in the evolution of the magma system; the fluid-crystal is commonly in disequilibrium with magma, but a part of crystals from the super-critical crystal sub-population can be in equilibrium with the host magma. Therefore, the fluid-crystal is occasionally coexisting with the melt-crystals. The preservation of crystal populations in igneous rocks is related to the existing time of the magma system and the resorption rate of crystals. In the magma system where the magma quickly rises up and consolidates, all the crystal populations could be preserved; otherwise, only the matrix crystal sub-population is preserved. Accordingly, the number of population and the crystal size distribution can be used to qualitatively evaluate the existing time of a magma system and its dynamic conditions. Therefore, the quantitative analysis of igneous texture will be an important task in genetic mineralogy.

**Key words:** crystal population; igneous rock; genetic mineralogy; quantitative texture analysis; maturity of magma system

**About the first author:** LUO Zhao-hua, male, born in 1956, professor, supervisor of doctor candidates, engages in the study of igneous petrology, magmatism and metallogeny as well as igneous tectonics; E-mail: luozh@cugb.edu.cn.