

大别——苏鲁造山带石榴石橄榄岩

——地幔过渡带的信使*

杨建军

近来,在人们对造山带含柯石英或金刚石榴辉岩如何能从 $\geq 90\text{km}$ 的深度抬升至地壳浅部进行研究,还未取得一致意见的时候,又有证据显示,这些“超高压”岩石的形成压力实际上还不止 $2.7\sim 4.0\text{GPa}$ ($90\sim 120\text{km}$)。

杨建军等(Yang et al, 1993)曾运用地质温度压力计得到苏北石榴石橄榄岩再平衡条件为 $6.0\sim 6.5\text{GPa}$ 和 $1000\sim 1250^\circ\text{C}$ 。作者最近对大别—苏鲁石榴石橄榄岩的研究发现,岩石所含橄榄岩中出溶物,已能初步识别的有有类似钛铁矿结构和尖晶石结构的两种晶体(图1)。其化学组成分别为 $(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Cr})(\text{Ti}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al}, \text{Cr})\text{O}_3$ 和 $\text{Fe}^{2+}(\text{Fe}^{3+}, \text{Cr}, \text{Ti})_2\text{O}_4$ 。Do-brzhinskaya等(1996)在瑞士的Alpe Arami已发现了这种现象,认为它们指示有关的岩石曾在 15.0GPa 和 1320°C 条件下达到平衡(相当于上地幔和下地幔的过渡带深度, $>400\text{km}$)。其理由是(1)高价阳离子不能占据八面体位置溶解于 α -橄榄石结构,却很容易地溶入具有空位的 β -橄榄石结构。上述高价阳离子氧化物出溶晶体曾溶于主晶橄榄石,指示该橄榄石曾具有 β -相的结构;(2)这些橄榄石的晶格优选方位不是 α -橄榄石特征的方位($[010]$ 近垂直片理和 $[100]$ 近平行线理),而是一种前所未有的优选方位,即 $[100]$ 垂直于片理,指示它变形时可能不具有 α -橄榄石结构;(3)橄榄石中所析出针状晶体的结构并不一致,是一系列从钙钛矿向钛铁矿过渡的结构。以往实验表明,在温度为 1320°C 时, β -橄榄石 $\rightleftharpoons\alpha$ -橄榄石相转变压力为 $13.0\sim 14.0\text{GPa}$, FeTiO_3 (钙钛矿结构) $\rightleftharpoons\text{FeTiO}_3$ (钛铁矿结构)相转变压力为 10.0GPa 。这些压力均远远高于目前大部分人根据柯石英和金刚石稳定压力下限估计的

“超高压”变质岩的峰变质压力($2.7\sim 4.0\text{GPa}$)。

作者的工作表明,大别—苏鲁石榴石橄榄岩中橄榄石出溶晶体在成份上与Alpe Arami有相当的差别,但是在结构上却相同或相似(详细资料另文发表)。不仅如此,作者还观察到单斜辉石被包裹于石榴石内或在其边缘交代石榴石生长(图2,又见Yang et al(1993)的描述),指示它们是石榴石出溶的产物。高压实验表明,石榴石在 $10.0\sim 13.0\text{GPa}$ 的压力下向辉石转变。单斜辉石出溶物作为包体或沿石榴石边缘生长而不是呈出溶片晶的形式析出,与当时岩石的过冷度或冷却速率有关。在岩石抬升早期冷却较缓慢过冷度不大时,上述相变容易沿矿物边界发生(不均匀出溶)。石榴石内没有继续大规模析出辉石片晶(均匀出溶)可能是随后冷却速率剧增,过冷度太大以致石榴石固溶体以亚稳定状态保留下来,没有再发生出溶。

看来以上观察和分析足以说明,大别—苏鲁造山带石榴石橄榄岩曾经在 $\geq 10.00\sim 13.0\text{GPa}$ 的压力下平衡。这一压力可对应于上地幔和下地幔过渡带的顶界— 400km 处的地震波速不连续面。详细研究这些橄榄岩将为这一地球内部重要界面的成因解释提供直接的、更真实具体的依据。近年来人们业已认识到,深源地震($>300\text{km}$)不是由岩石的脆性破裂引起,而是由地幔矿物相变引起的。例如, α -橄榄石向 β -橄榄石转变,密度增加 8% ,势必导致岩石体系内能的改变。因此,研究这种石榴石橄榄岩能够对理解它们在深部的物理化学性状提供线索,对揭示深源地震发生机理有重要意义。

既然造山带石榴石橄榄岩曾具有如此大的平衡压力,区域上与它们伴生的“超高压”榴辉岩及片麻岩是否也曾这样的压力条件下达到过平衡?这是岩石学工作者面临的一项挑战性工作。最后,正如当初发现柯石英和金刚石之后,人们感到必须重新认识变质作用

* 地质矿产部编号9501102“九五”重大科技项目初步成果

的深度范围和造山带深部动力学过程一样,当越来越多的证据表明目前通称的“超高压变质岩”(≥2.7GPa)的岩石可能在远不止这一压力下形成时,我们迫切需要调整目前的研究思路,重新考虑造山带的演化模式,特别是令人费解的“超高压”变质岩折返问题。

本文的撰写得到程裕淇院士的关怀和帮助。

主要参考文献

1. Dobrzhinetskaya, L., Green II, H. W.,

Wang, S., 1996, Alpe Arami: a peridotite massif from depth of more than 300 kilometers, *Science*, vol. 271, p. 1841—1845

2. Yang, J., Godard, G., Kienast, J.-R., Lu, Y., and Sun, J., 1993, Ultrahigh-pressure magnesite bearing garnet peridoties from Northeastern Jiangsu, China. *Journal of Geology*, v. 101, p. 541—554

(地质矿产部同位素开放实验室)

GARNET PERIDOTITES IN THE DABIE-SU-LU OROGENIC BELT: MESSENGER FROM THE MANTLE TRANSITION ZONE?

Abstract

At least two types of oxide exsolutions of highly charged cations (Fe^{3+} , Cr, Ti, Al, etc.) are observed in olivine in many of the garnet peridotites in the Dabie-Su-Lu “ultrahigh”-pressure metamorphic belts. They display ilmenite-like and spinel structures. According to the interpretation of Dobrzhinetskaya et al (1996), such exsolutions are retrograde products due to the transition of the earlier high pressure polymorph of $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$, i. e., β -olivine, into the low pressure polymorph α -olivine. This means that the garnet peridotites once stayed at pressures of ≥ 13 GPa, which correspond to depths ≥ 400 km. Additional observation on replacement of garnet by clinopyroxene, both as inclusions and along garnet boundaries, also indicates a high-pressure phase transformation event; heterogeneous exsolution of garnet into clinopyroxene, an event which can only occur at pressures 10—13 GPa. The fact that this latter phase transformation was heterogeneous rather than in the form of homogeneous lamellar exsolution may imply that the exsolution took place at the early stage of uplift at a relatively slow cooling rate. In any case, it seems convincing that the garnet peridotites came from the mantle transition zone (≥ 400 km). These new findings show that the peak metamorphic pressure of the “ultrahigh”-pressure metamorphic rocks is presently far underestimated (2.7–4.0 GPa) and make the question as to how these deep seated rocks were exhumed to crustal levels even less tractable.

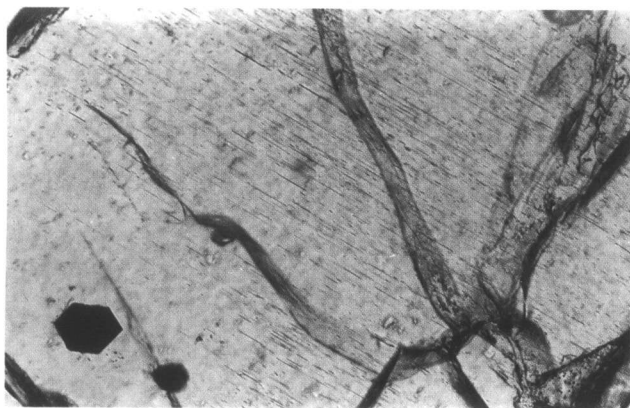


图1 石榴石橄榄岩橄榄石内部针状出溶晶体(类似钛铁矿结构)。左下方橄榄石边缘重结晶, 针状出溶物消失, 出现六边形的尖晶石出溶晶体。比例尺: 0.13mm。江苏东海

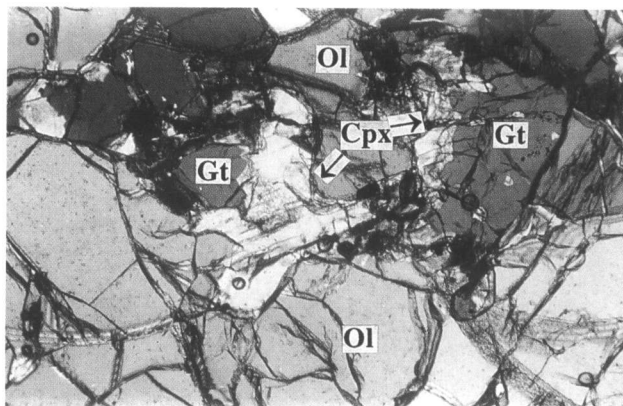


图2 石榴石橄榄岩中单斜辉石(CPx)包围交代石榴石(Gt)。比例尺: 1mm。江苏东海