



新闻动态

您现在的位置: 首页 > 新闻动态 > 学术前沿

- 图片新闻
- 头条新闻
- 通知公告
- 学术活动
- 综合新闻
- 科研动态
- 研究亮点
- 学术前沿

## 【前沿报道】Nature: CaSiO<sub>3</sub>钙钛矿的地震波速实验测定及其对下地幔LLSVPs的启示

2019-11-04 | 【大 中 小】【打印】【关闭】

从全球一维地震学模型看地球的下地幔，绝大部分似乎是“平淡无奇”的区域。近年来，随着地震观测与反演技术的进步，人们逐渐“看”到下地幔其实有着不同寻常的精彩。其中最吸引人的，是人们通过不同观测均发现核幔边界以上存在厚达上千公里的结构体，它们集中分布于非洲和太平洋以下，横向分布可达数千公里，这些结构体有较为清晰的边界，呈现与周围地幔相比偏低的横波波速（因而被称为大型横波低速带，Large Low Shear Velocity Provinces，简称为LLSVPs），并且具有较高的横波纵波波速比。显然，研究LLSVPs的特征及成因对人们理解地幔对流机制具有十分重要的意义。

什么原因造成LLSVPs的横波波速异常？其主因究竟是温度异常还是由于物质成分异常，以及进一步地造成横波波速异常的成分又来自于什么地方？人们对此有很多解读，也存在很大争议。近日，来自英国伦敦大学学院的Thomson等在*Nature*上发表了题为“Seismic velocities of CaSiO<sub>3</sub> perovskite can explain LLSVPs in Earth’s lower mantle”的最新成果，为解释LLSVPs提供了新的约束。

Thomson等的工作源于矿物学的“传统”思路：利用热力学模型计算矿物组合的波速，并将其与实际地震观测数据相比较，从中推算出造成地震波速异常的矿物学成因。如图1所示，用现有的下地幔矿物数据库计算出的玄武岩波速（图1中红色虚线）始终明显大于平均地幔（图1中的地幔岩pyrolite模型）。他们注意到，该数据库中默认CaSiO<sub>3</sub>钙钛矿（以下简称CaPv）为立方晶体，并且参数主要来自于对第一原理模拟数据的拟合，但最近的高温高压实验表明，立方结构CaPv的实际横波波速也许要远低于理论模拟结果（Gréaux et al., 2019；参见前沿报道《立方结构CaSiO<sub>3</sub>钙钛矿的声速原位测量及对下地幔顶部物质成分的启示》）。由于CaPv在俯冲带玄武岩矿物组合中的占比可达20%以上（如图1），因此现有热力学模型显然高估了洋壳深俯冲物质的横波波速。

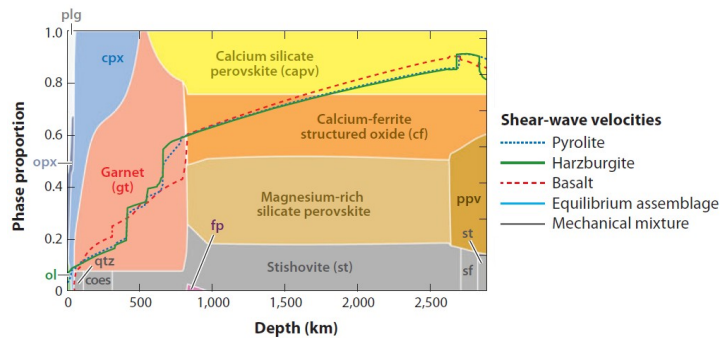


图1 利用热力学模型计算出的玄武岩模型在地幔条件下的矿物组合与横波波速（Stixrude and Lithgow-Bertelloni, 2012）

和Gréaux等的工作类似，Thomson等利用高温高压实验方法原位测定了CaPv随温压变化的结构相变及其波速，不同的是他们在样品中还加入了少量Ti，并且特别注意了高温下样品的温度梯度控制。如图1所示，Thomson等发现他们在常温常压下测得的CaPv波速与Gréaux等的结果吻合得很好，但是在高温下存在较大偏差，他们把这些偏差归咎于Gréaux等的实验在高温下可能存在较大的温度梯度（样品实际温度可能要低于热电偶测量值约250℃-300℃）。与此同时，新的实验发现Ti的加入将CaPv从四方相转变到立方的温度提高了近800 K，而高压相变会带来波速的较大异常变化（纵波减小4%-14%，横波减小8%-20%，如图3所示）。

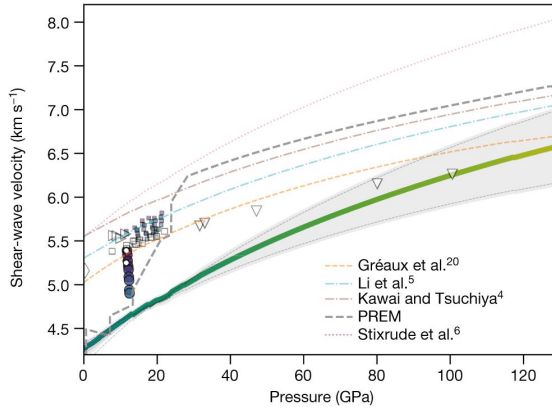


图2 Thomson等测得的CaPv横波波速与前人研究结果的对比。绿色粗实线为沿1500K地幔绝热曲线的立方CaPv的横波波速

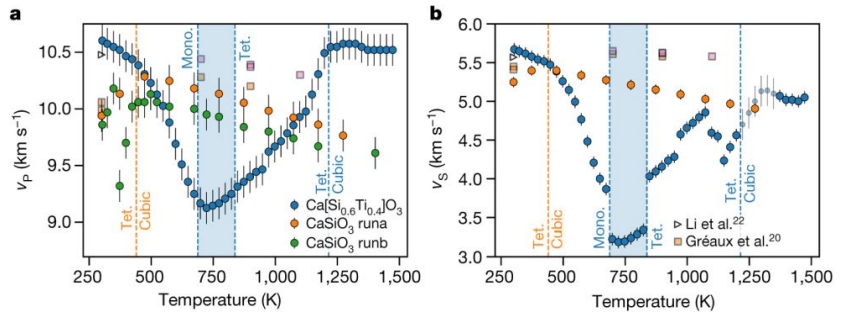


图3 CaPv样品在高温高压条件下的波速变化

有了新的实验数据，再精选前人的相关实验数据，Thomson等重新拟合了立方和四方结构CaPv的热力学状态方程参数，然后重新计算了各种矿物学模型的波速。如图4所示，沿着1500 K的地幔绝热线MORB的波速要明显低于平均地幔，考虑到MORB的密度要大于平均地幔，因此洋壳俯冲至下地幔堆积成为LLSVPs的合理解释。这解决了前人热力学模型预测MORB波速高于平均地幔的矛盾（如图1所示）。Thomson等进一步提出，如果CaPv已经相转变为立方结构，则100 GPa下64% MORB+36%harzburgite模型或者125 GPa下48% MORB+52%harzburgite模型可以较好地解释LLSVPs的横波异常以及横波纵波波速比偏大等地震学特征。与此同时，联系图3所反映的CaPv相变带来的波速异常，Thomson等提出1000公里附近的地幔中部的散射体和异常也许也和CaPv密切相关。

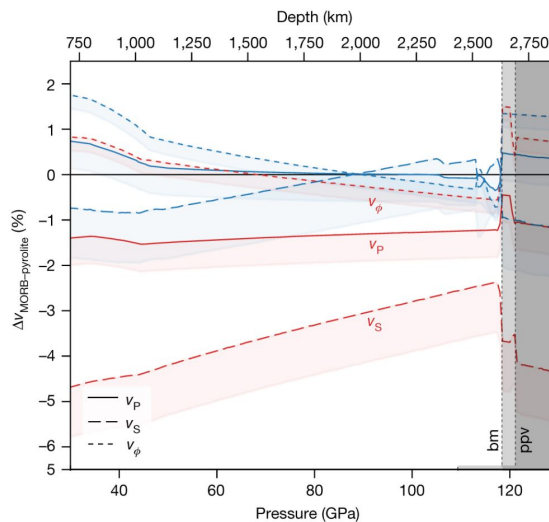


图4 MORB模型的波速与平均地幔波速的对比。图中红色为沿着1500 K地幔绝热线的波速，而蓝色为沿着1000 K俯冲带绝热线的波速

回到CaPv矿物本身，Thomson等的工作是不是就宣告了其弹性波速研究的胜利和终结呢？答案显然是否定的：首先，正如Thomson等在其文中提及，他们的实验温压区间还非常有限（大约12GPa、300–1500 K），从如此有限的回归热力学模型推测整个地幔深处（与LLSVPs相关的温压可高达130GPa、3000 K）显然有很大的不确定性；其次，不同实验之间有差别，Thomson等虽然做了分析和推断，但评价数据的可靠性显然还有待更多研究的交叉验证；再有，什么原因造成第一原理模拟得到的波速要远高于新的实验结果？这仍然是困扰高温高压领域的热点和难点，同时也是更加深入理解CaPv这类具有明显非谐效应矿物的关键。

### 主要参考文献

Gréaux S, Irifune T, Higo Y, et al. Sound velocity of  $\text{CaSiO}_3$  perovskite suggests the presence of basaltic crust in the Earth's lower mantle[J]. *Nature*, 2019, 565:218-221. (链接)

Stixrude and Lithgow-Bertelloni. Geophysics of chemical heterogeneity in the mantle[J]. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2012, 40: 569-595. (链接)

Thomson A R, et al. Seismic velocities of  $\text{CaSiO}_3$  perovskite can explain LLSVPs in Earth's lower mantle[J]. *Nature*, 2019, 572(7771): 643-647. (链接)

(撰稿: 张志明、张志刚/地星室)



地址: 北京市朝阳区北土城西路19号 邮编:100029 电话: 010-82998001 传真: 010-62010846  
版权所有© 2009-2019 中国科学院地质与地球物理研究所 京ICP备05029136号 京公网安备110402500032号

