



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

## Nature: 中大西洋中脊下方减薄的地幔过渡带

2021-03-12 | 【大 中 小】 【打印】 【关闭】

地球是一个多层系统，理解不同层间的物质和能量交换是认识地球演化的关键。板块俯冲将地球浅表物质带到深部地幔，地幔柱上涌则将核幔边界的物质和能量输送到地表，两者共同构成上、下地幔物质和能量交换的主要循环系统。而Agius et al. (2021)最新研究表明，除俯冲带和地幔柱外，洋中脊是上、下地幔物质和能量交换的另一重要通道，对理解地幔对流模式、地球内部物质交换和能量平衡有重要意义。

地幔对流模式是理解板块运动、地球内部物质和能量交换等地球动力学过程的基础。长期以来，地幔对流模式一直存在巨大的争议，分歧主要集中在“分层对流”还是“全地幔对流”(Tackley, 2008)。地球化学研究中观测到的上地幔不相容元素亏损，常解释为上、下地幔“分层对流”；而地球物理观测到的连通上、下地幔的俯冲板片和地幔柱，则提供了“全地幔对流”的结构证据。介于二者之间的“混合对流”模式则认为，上、下地幔对流速率不同，且上、下地幔间物质和能量交换是有限、不均一的(图1)。

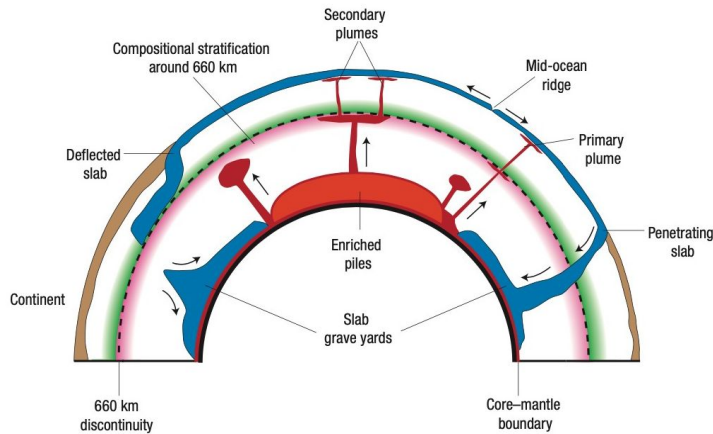


图1 混合地幔对流模式图 (Tackley, 2008)

地幔过渡带是指地下 410-km 和 660-km 间断面之间的地幔部分，是联系上、下地幔的纽带，是理解地幔对流模式、地球内部物质和能量交换的关键 (Helffrich and Wood, 2001)。410-km 和 660-km 间断面主要由橄榄石的相变引起，是全球范围内的一级间断面，在震害学中表现为地震波速度和密度不连续面。受温压状态和物质组分的影响，410-km 和 660-km 间断面的深度起伏、粗糙程度等结构特性也会随之变化。对地幔过渡带结构的精细地震学研究 (Bercovici and Karato, 2003; Wu et al., 2019)，特别是对占地球面积70%的海洋下方地幔过渡带结构的约束，成为深入认识地幔对流这一地球演化过程中最基本的动力学过程的重要内容。

洋中脊是贯穿全球大洋洋底的山脉，是洋底扩张的中心和新洋壳产生的地带，与板块发生消亡的俯冲带共同构成了地球上最长的构造边界。地幔热物质在洋脊处不断上涌、减压熔融并快速冷却为洋中脊玄武岩，随着板块运动参与到地球内部物质循环和能量交换中。然而，与联通上、下地幔的板块俯冲活动不同，现有地球化学与地球动力学研究总体支持洋中脊处的对流活动仅局限于上地幔软流圈部分，并不与下地幔直接相关。例如，同位素地球化学研究表明，洋中脊玄武岩具有明显的亏损地幔特点，与夏威夷等热点 (hotspot) 所表现出的富集类型显著不同，因此洋中脊物质可能主要来自于亏损上地幔。而Agius et al. (2021) 最新的洋中脊下方地幔过渡带结构研究发现，洋中脊下方可能还存在着上、下地幔物质和能量交换的通道。基于2016-2017年布设在赤道附近中大西洋洋中脊的海底地震仪观测数据 (图2)，Agius等利用接收函数方法分析发现，洋中脊下方 660-km 间断面隆起  $10 \pm 4$  公里，410-km 间断面下沉  $5 \pm 4$  公里。地幔过渡带厚度变薄，且减薄区域横向跨度约600公里，与地震层析成像中观测到的地震波低速异常区相吻合，可能反应了热物质从下地幔到上地幔的运移通道 (图3)。Agius等还对洋中脊和热点的显著地球化学差异特征进行了分析。首先，来自下地幔的上涌物质在洋中脊下方可能比热点地区温度更低，上涌速率更小，从而在

上地幔有更充分的时间相互作用，导致富集地幔信号减弱。其次，热点地区的上涌物质可能来源于相对富集、高粘滞度并且流动迟缓的下地幔布里奇曼对流区域，而洋中脊下方的上涌物质则来自相对亏损和低粘滞度的下地幔，因此两者在源头上可能有差异。最后，洋中脊上涌物质更多地受到了上地幔内小尺度对流混合的影响，这一推论也可解释为什么中大西洋洋中脊观测到的富集地幔信号呈零散分布。

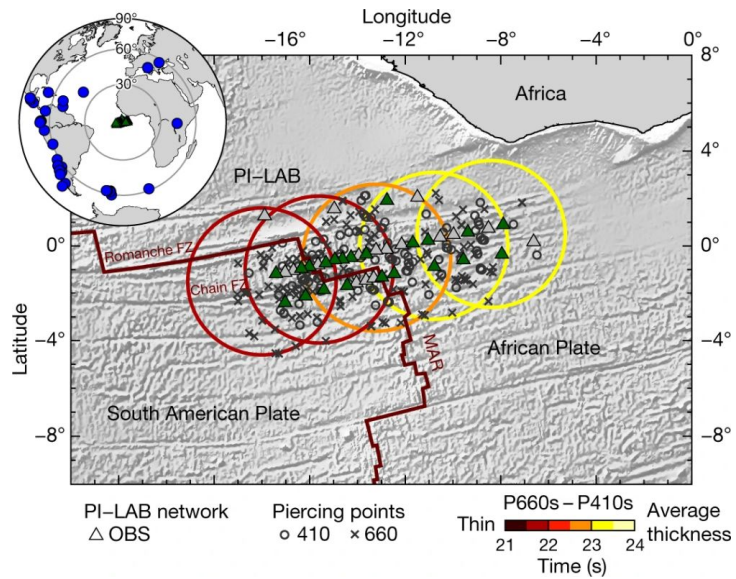


图2 研究区域及海底地震仪（绿色三角）分布 (Agius et al., 2021)

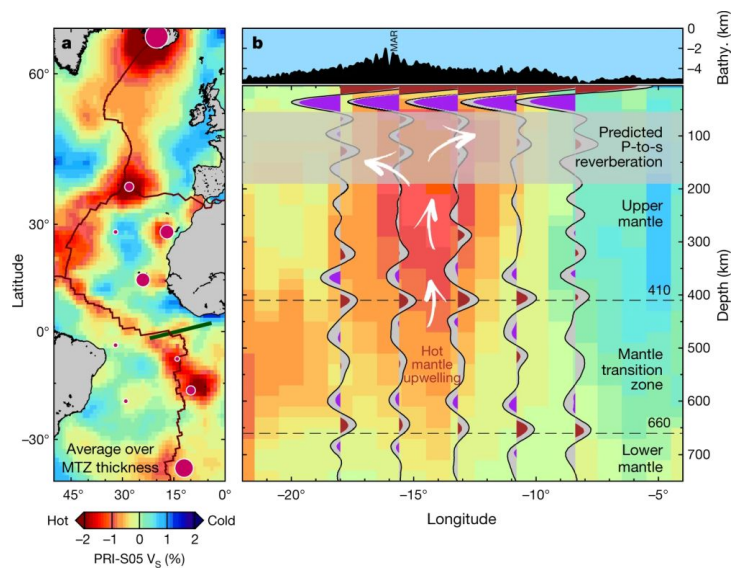


图3 洋中脊下方地幔流(Agius et al., 2021)。(a) 研究区域，背景图为地幔过渡带附近地震层析成像结果，粉色点为地幔柱热点位置。(b) 接收函数和层析成像结果。洋中脊下方地幔过渡带局部减薄区与层析成像观测到的地震波低速异常区相吻合，预示着洋中脊下方存在下地幔向上地幔物质的运移通道

通常认为，俯冲带是地表物质输送到深部地幔的主要场所，而地幔柱则是大尺度深部物质和能量传回地表的主要通道，两者共同构成了上、下地幔物质和能量最主要的循环系统。Agius等藉由对地幔过渡带结构的探测，认为洋中脊下方热物质相对集中地从下地幔输运至上地幔，表明洋中脊可能是上、下地幔物质能量交换的另一重要通道。考虑到大洋中脊系统的长度和寿命，这意味着“全地幔对流”可能比以往认为的更为普遍，对理解地幔对流模式，地球内部物质交换和能量平衡有重要意义。

当然，Agius等人观测到的地幔过渡带减薄现象是否具有普遍性，以及针对下地幔上涌物质质量的准确估算还有待进一步研究。受限于海底地震仪布设难度和成本，现有采样区域相对全球长达约八万公里的洋中脊来说仍然十分有限，过渡带减薄现象是否广泛存在于洋中脊下方还缺乏认识。其次，下地幔上涌物质质量的准确估计，发生深度及其对上、下地幔物质总体混合效率的影响还缺乏定量研究。因此，更广泛的海洋下方地震学结构及相应动力学机制还有待进一步深入研究。

#### 主要参考文献

Agius M R, Rychert C A, Harmon N, et al. A thin mantle transition zone beneath the equatorial Mid-Atlantic Ridge[J]. *Nature*, 2021, 589(7843): 562-566. (原文链接)

Bercovici D, Karato S. Whole-mantle convection and the transition-zone water filter[J]. *Nature*, 2003, 425(6953): 39-44.

Helffrich G R, Wood B J. The Earth's mantle[J]. *Nature*, 2001, 412(6846): 501-507.

Tackley P J. Layer cake or plum pudding?[J]. *Nature Geoscience*, 2008, 1(3): 157-158.

Wu W, Ni S, Irving J C E. Inferring Earth's discontinuous chemical layering from the 660-kilometer boundary topography[J]. *Science*, 2019, 363(6428): 736-740.

(撰稿: 王新, 李娟/地星室, 吴文波/加州理工学院)



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© 2009-2021 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

