科学家揭秘软流圈熔体分层结构

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/27048.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

科学家揭秘软流圈熔体分层结构。北京时间2024年5月3日，中国地质大学（武汉）地球科学学院、地质过程与矿产资源国家重点实验室刘勇胜教授引领的壳幔交换动力学团队及其国内外合作者在国际顶级期刊《自然—地球科学》(Nature Geoscience)发表了题为Widespread two-layered melt structure in the asthenosphere(广泛的软流圈熔体分层结构)的学术论文。

该研究建立了玄武岩重稀土元素分异对地幔熔融深度的响应机制，揭示了上地幔软流圈熔体分层结构在全球范围内广泛分布，为我们理解地球内部的运行机制以及深部动力学过程提供了新的视野。

论文通讯作者为刘勇胜教授，论文第一作者为张军波博士。

板块构造是地球区别于太阳系其他类地行星的独特标志，不仅塑造了地球的地表形态，还促进了地球宜居性的演变。软流圈是位于刚性岩石圈之下的塑性圈层，具有异常低的地震剪切波速，普遍解释是由地幔部分熔融所导致。最新地震层析成像与矿物物理实验研究发现，构造板块的运动速度与软流圈熔体比例直接相关：软流圈中少量熔体的出现可降低其粘滞系数，提高构造板块运动速度，并促进软流圈中大尺度晶体定向排列。因此，软流圈是构建经典板块构造理论的主要组成部分，理解软流圈的结构及其成因机制对人们深刻认识地球内部物质-
能量交换、地震波速各向异性和构造板块运动驱动力等地球动力学过程具有重要意义。

洋岛玄武岩(OIB)和洋脊玄武岩(MORB)被认为是地幔物质在浅部上地幔深度发生部分熔融的产物，是探索软流圈结构与物理-化学性质的重要探针。地幔部分熔融对上地幔的物理-化学性质(如，密度、粘度、电导率、地震波速等)以及地球动力学过程(如，地幔对流和构造板块运动)具有重要影响，也与软流圈的形成密切相关，因此了解幔源熔体形成的温度和压力条件一直是地球科学领域的重要科学问题之一。幔源熔体成分会随着地幔熔融深度的不同而系统地变化，但目前很少有可靠的定量约束。

为了更好地了解地球内部的结构和运行方式，该研究团队开发了一种新的定量计算地幔熔融深度的地球化学指标，即玄武岩Y/Yb比值。钇(Y)与镱(Yb) 在上地幔深度主要赋存在石榴石和单斜辉石(地球上地幔重要的造岩矿物)中，这两种元素在石榴石和单斜辉石中的相容性具有强烈的压力依赖性，但随压力增加表现出差异性变化，因此玄武岩Y/Yb比值可以指示含石榴石和单斜辉石地幔部分熔融的深度。该研究团队通过收集整理全球年轻火山岩地区已有的地球物理-地球化学资料，发现大陆/大洋玄武岩Y/Yb比值和相关地区的岩石圈-软流圈边界(LAB)或地震低速异常带(LVZ)深度数据之间具有明显的正相关性，由此建立了基于玄武岩Y/Yb比值估算地幔熔融深度的简单压力计[深度(km) = 7.933 × Y/Yb − 15.987; 图1]。

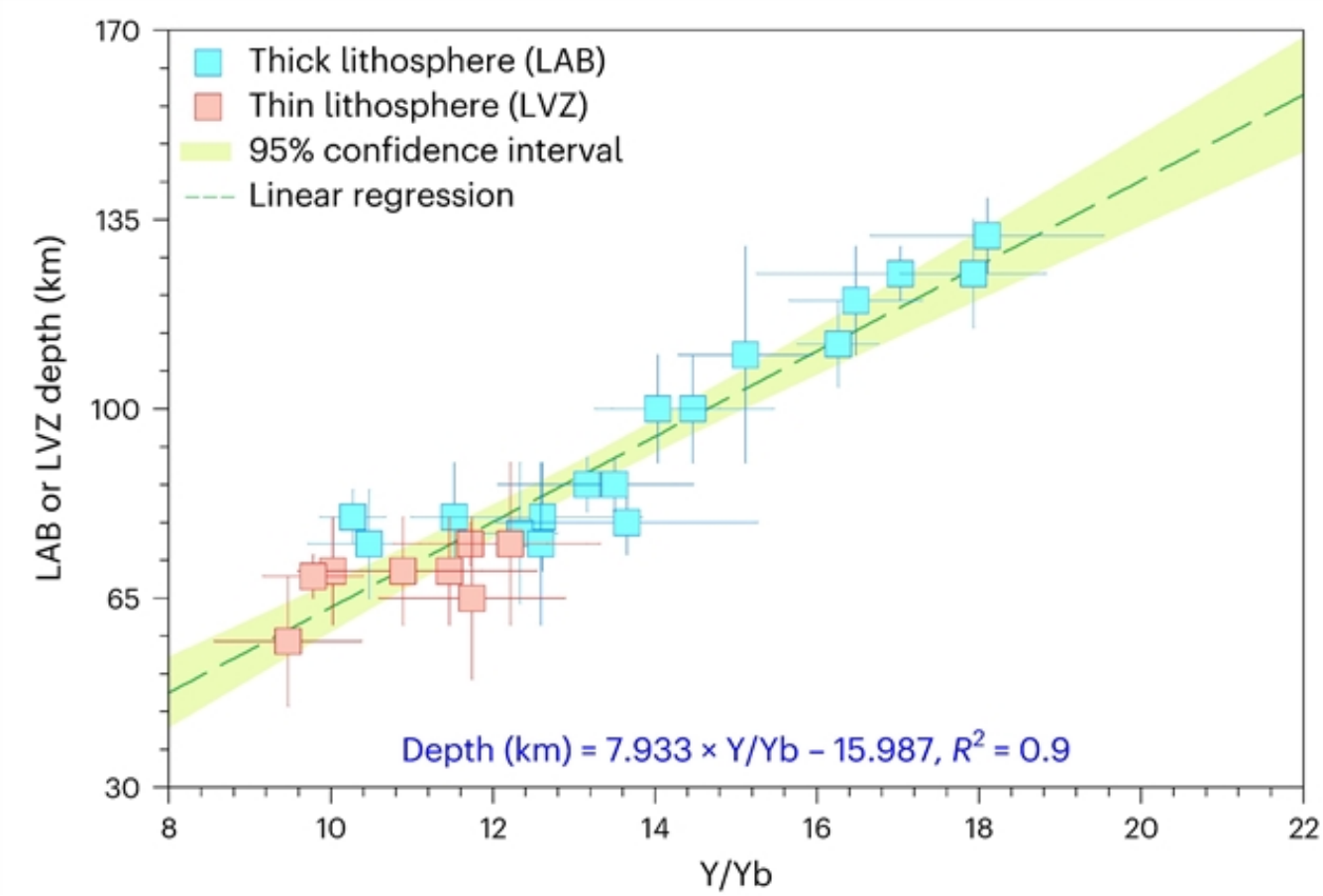


图1. 全球大陆/大洋年轻火山岩地区玄武岩Y/Yb比值与岩石圈-软流圈边界(lithosphere-asthenosphere boundary, LAB)或地震低速带(low-velocity zone, LVZ)深度之间的相关性。

通过对全球玄武岩地球化学数据的统计分析发现，不同构造板块喷发的大洋/大陆玄武岩Y/Yb比值具有双峰式分布特征，对应了两种不同来源深度的软流圈熔体(80 – 110 km vs. 140 – 165 km)，这也大致对应于地球物理观察到的双剪切波低速带深度 (图2和图3)。此外，该研究团队还发现不同起源深度的软流圈熔体也对应了截然不同的熔体物理-化学性质，浅源熔体(80 – 110 km)为富硅熔体(密度低)，深源熔体(140 – 165 km)为贫硅富铁熔体(密度高、粘度低以及熔体活动性低)，而铁对深源熔体在软流圈140 – 165 km深度的稳定性可能扮演了极其关键的角色。高温高压实验结果也显示，熔体活动性($\Delta \rho / \eta$ —衡量熔体稳定与迁移能力的重要参数)在110 – 140km压力范围内最强(相应深度熔体向上迁移)，导致软流圈110 – 140 km深度处几乎没有熔体出现，这一过程可能是软流圈熔体分层结构形成的重要机制(图2)。

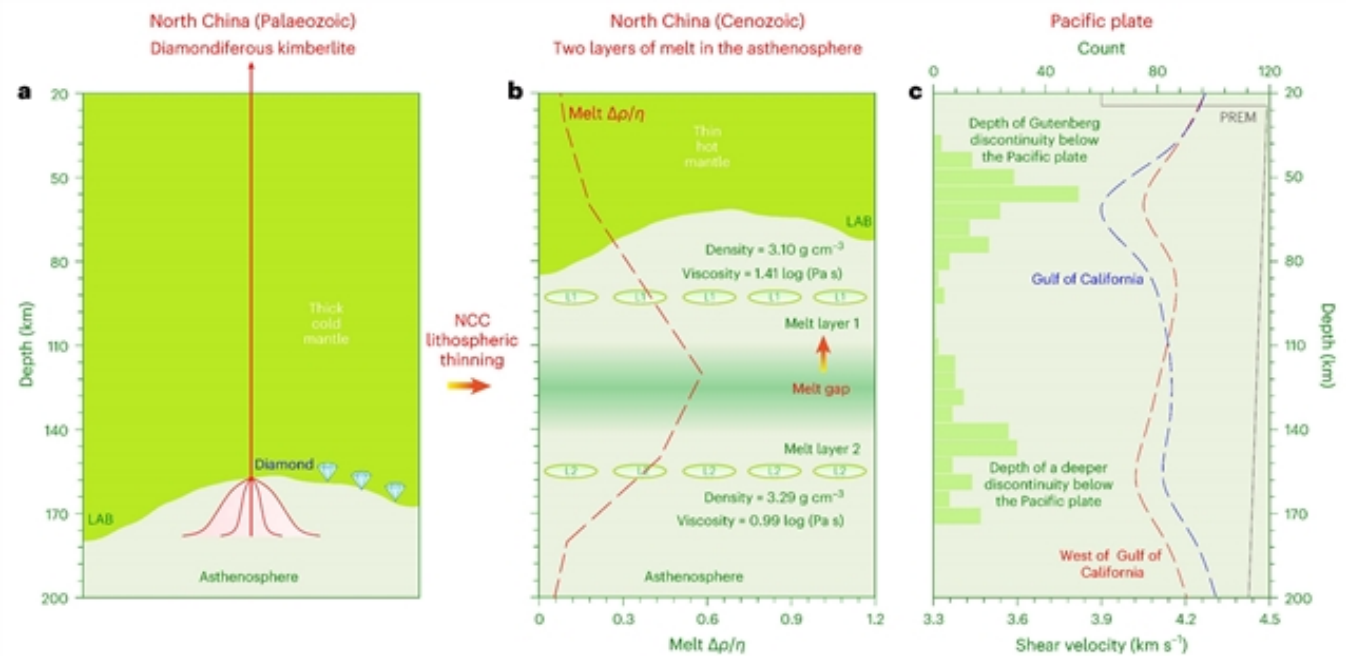


图2. 软流圈熔体分层结构模型. (a-b)岩石圈减薄与软流圈熔体分层结构及其形成机制. (c)软流圈熔体分层与双剪切波低速带。

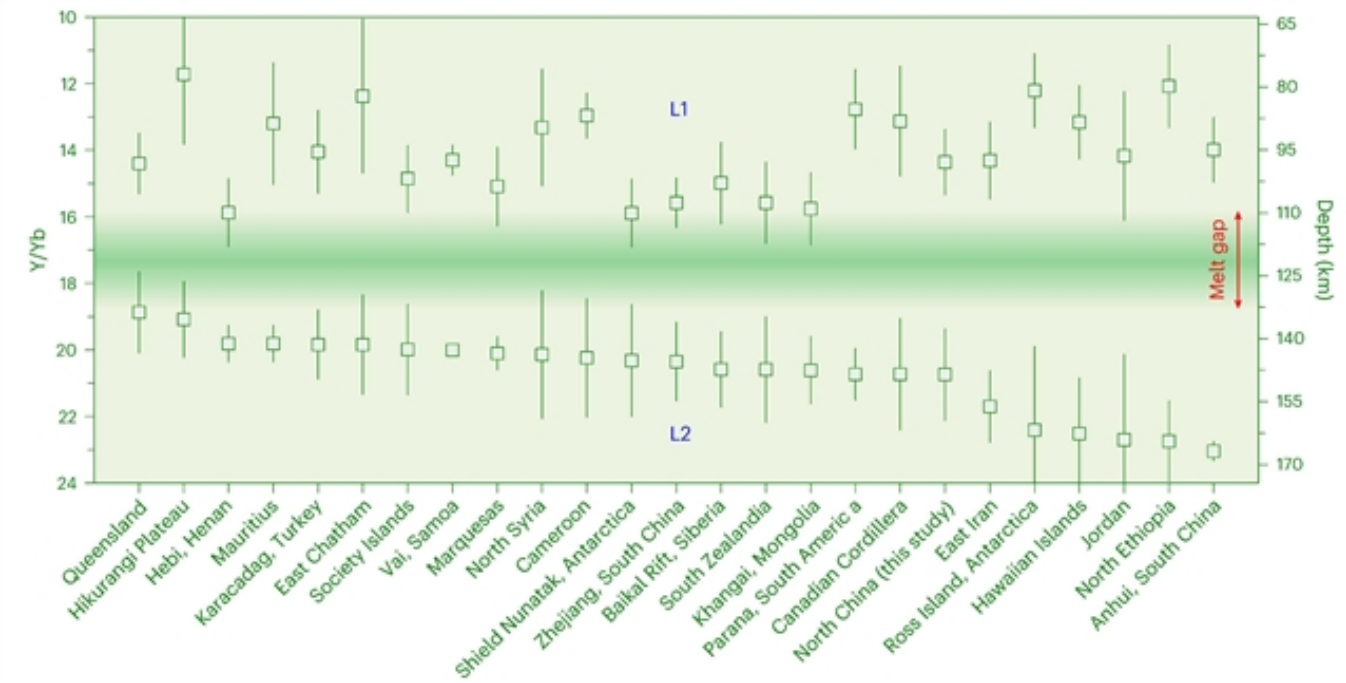


图3. 不同构造板块25个地区的大洋/大陆玄武岩具有类似的双峰式Y/Yb比值. 软流圈熔体分层结构 (80 – 110 km vs. 140 – 165 km) 在全球范围内广泛分布。

软流圈熔体起源深度揭示出全球范围内软流圈中广泛存在双层熔体结构, 主要形成于岩石圈较薄的构造板块之下，如快速扩张的太平洋板块、大陆边缘、大陆裂谷和裂解的微陆块，这对我们理解地球内部的侧向地幔对流、板块漂移和克拉通/超大陆裂解具有重要指示意义。

该项研究成果受到国家自然科学基金委(42173051与42050201)、科技部国家重点研发计划项目(2019YFA0708400)和地质过程与矿产资源国家重点实验室特别资助项目(MSFGPMR01)等的联合资助。该成果作为研究亮点被加州大学圣迭戈分校Emily J. Chin教授在Nature Geoscience的News Views专栏撰写了正面评述(Chin, E. J., 2024. Dual mantle melt layers, https://www.nature.com/articles/s41561-024-01439-9)。（来源：科学网）

相关论文信息：https://www.nature.com/articles/s41561-024-01433-1

作者：刘勇胜等 来源：《自然—地球科学》

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发