



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: 金伯利岩Hf-Nd同位素揭示地球长期存在未去气的原生地幔储库

2019-12-09 | 【大 中 小】 【打印】 【关闭】

地球是具有圈层结构的星球，其中地幔是体积和质量最大的圈层，其物理状态与化学组成对于理解地球的形成与演化过程至关重要。地球发生圈层分异以后，尤其是自板块构造体制启动以来，地幔的化学组成受到各种过程的影响而发生改变，如熔体的抽取可以导致地幔发生亏损，而俯冲的地壳物质则可以导致地幔在元素和同位素上的重新富集。对于地幔化学组成的制约主要来源于对大洋中脊玄武岩（MORB）和洋岛玄武岩（OIB）的研究（Hofmann, 1997）。大洋中脊玄武岩通过软流圈减压熔融形成，大量的研究表明其具有相对均一的元素与同位素组成，进而表明其来源的幔源区即软流圈具有相对均一的成分。传统观点认为这是由于地幔对流作用可以有效让地幔发生混合，从而消除各种不均一的组分。洋岛玄武岩的形成通常认为与地幔柱活动有关，其成分相对于洋中脊玄武岩而言具有更大的变化范围，通常认为是由于下地幔存在各种不均一的地幔储库，如高 $\mu$ 地幔（HIMU）、富集I型地幔（EM-I）和富集II型地幔（EM-II）等。前人的研究也表明MORB和OIB之间存在显著He同位素差异，MORB具有相对均一的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 组成，而部分OIB则具有显著高的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比值。由于 $^3\text{He}$ 是地球形成时残留下来的，而 $^4\text{He}$ 则可以通过放射性的衰变形成，因此具有高 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值的OIB被认为是来自于在地球形成后未经历去气作用的原生地幔（primordial mantle）。由于现今OIB都相对年轻（一般不高于60 Ma），这种未经历去气作用的原生地幔是否在地质历史时期上长期存在尚不清楚。

澳大利亚墨尔本大学Jon Woodhead 教授及其合作者利用金伯利岩对该问题进行了研究。金伯利岩是目前已知的地球上来源深度最深的岩浆（最大深度可达800公里），它贫硅、富含挥发份（ $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 等），被认为是富集地幔非常低程度部分熔融的产物。金伯利岩也是金刚石的重要赋存岩石，从而也具有非常重要的经济价值。年代学资料显示地球自20亿年以来就有金伯利岩喷发记录，使得它能够成为研究地球深部地幔形成与演化的重要载体。Jon Woodhead教授等对全球范围内不同年龄的金伯利岩进行了系统的Nd-Hf同位素研究，结果表明老于200 Ma的金伯利岩的Nd-Hf同位素都落在同一条线性演化线上（图1），他们将这种金伯利岩称为原始金伯利岩（primitive kimberlite）。他们认为原始金伯利岩Nd-Hf同位素沿线性演化线分布的原因是它们来源于均一的地幔源区，其成分与球粒陨石均一库（CHUR）类似，并通过相关的模拟排除了其均一的地幔源区通过不同组分混合而成的可能性（图2）。考虑到部分原始金伯利岩具有非常高的 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 值，他们因此提出原始金伯利岩是来源于未去气的原生地幔，从而原生地幔自20亿年来就长期“孤立地”存在于地球的深部，且未遭受俯冲物质大规模混染作用的影响。

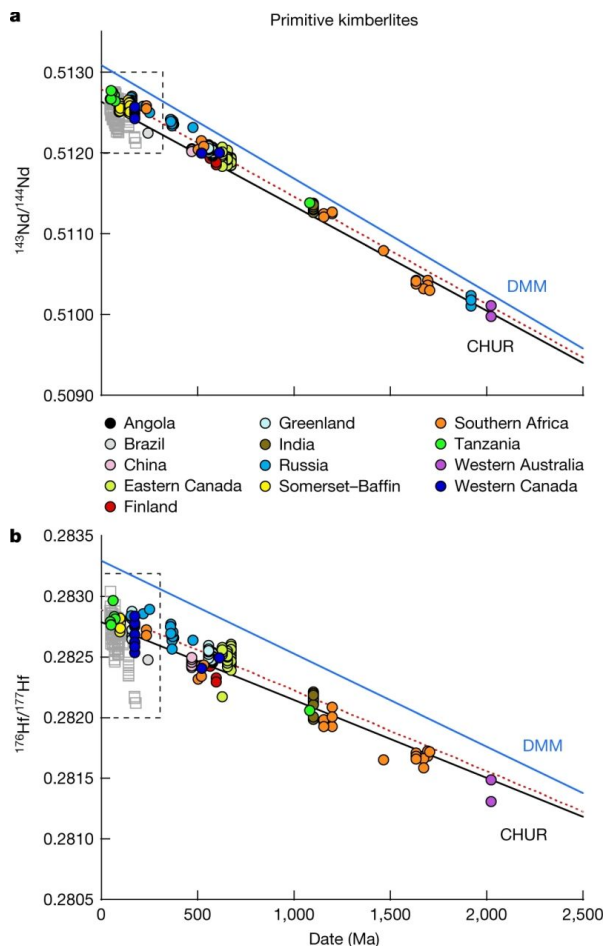


图1 全球金伯利岩的Nd (a)、Hf (b)同位素演化图解。200 Ma之前喷发的所有金伯利岩都来源于独立的相对均一的源区。从200 Ma开始，一部分金伯利岩（灰色方块）开始偏离这条趋势线，表现出不同的同位素特征。蓝色、灰色和红色线分别代表亏损地幔（DMM），球粒陨石（CHUR）和利用原始金伯利岩模拟出的演化线（Woodhead et al., 2019）

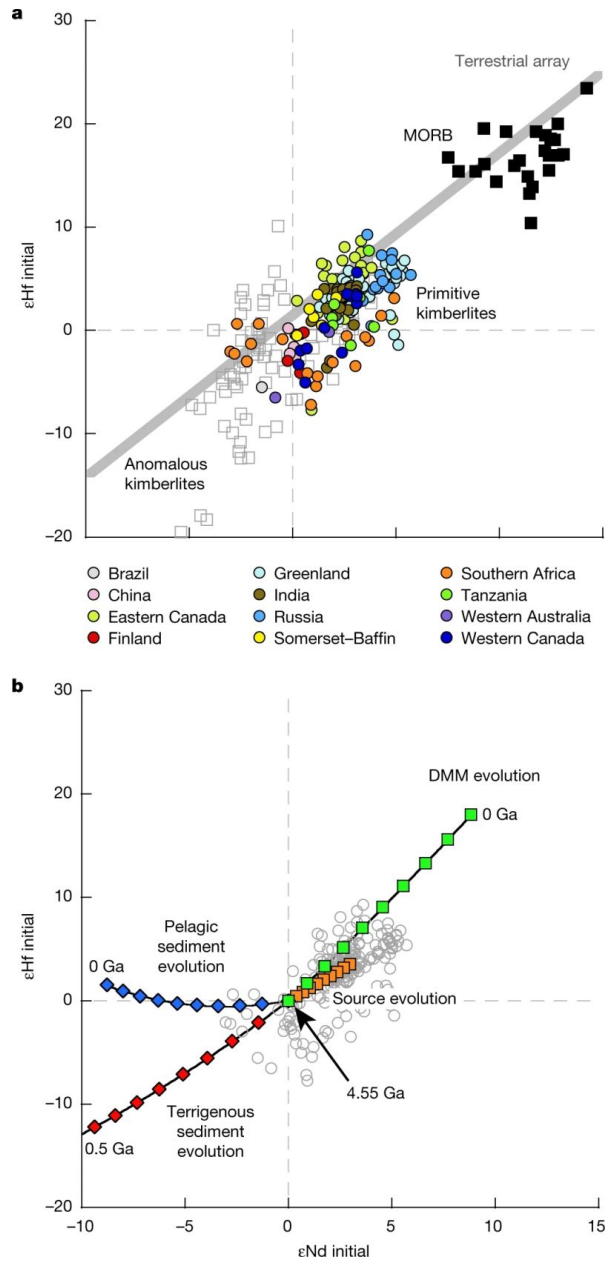


图2 原始金伯利岩（彩色圆点）与异常金伯利岩（灰色方块）的初始Nd-Hf同位素。（a）原始金伯利岩基本上与MORB都沿地球阵列（terrestrial array）趋势分布，而异常金伯利岩则偏离该趋势。（b）模拟结果表明原始金伯利岩的Hf-Nd同位素与CHUR类似的均一源区随时间放射性衰变趋势吻合，但与俯冲陆源沉积物（terrigenous sediment）以及远洋沉积物（pelagic sediment）的加入趋势存在显著差异（Woodhead et al., 2019）

此外，研究结果还表明来自于南非、巴西、加拿大西部等地区小于200 Ma的部分金伯利岩出现相对富集的Nd-Hf同位素组成，并明显偏离由原始金伯利岩定义的线性演化线（图1）。这些具有富集Nd-Hf同位素组成的金伯利岩被称为“异常金伯利岩（anomalous kimberlite）”。通过模拟计算，作者认为这些异常金伯利岩的富集Nd-Hf同位素特征可以通过在其源区加入小于10%的5-10亿年陆壳沉积物来解释。考虑到巴西、南非和加拿大西部在200 Ma时均位于Pangea超级大陆西部边缘的俯冲带上（图3），作者从而提出这些异常金伯利岩的源区遭受了俯冲物质的混染与改造。

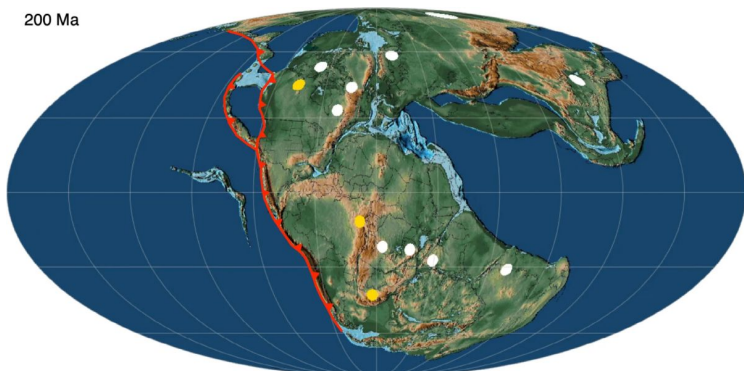


图3 200 Ma时期的Pangea大陆。其中白色圆圈代表原始金伯利岩的位置，金色圆圈代表异常金伯利岩的位置，红色线代表潘吉亚大陆西部边缘的俯冲带（Woodhead et al., 2019）

Woodhead 等人的研究表明未去气（即高 $^3\text{He}/^4\text{He}$ 比）的原生地幔至少从20亿年以来就长期“孤立”地存在于地球的深部地幔中，而且未遭受俯冲物质的大规模改造，直到200 Ma以后，沿Pangea超大陆俯冲作用才使得该原生地幔加入了俯冲的陆壳物质。这一结果对于地幔的化学组成及其形成演化具有非常重要的意义，但存在以下几个方面的问题有待深入研究：

(1) 尽管作者认为金伯利岩浆主要来自于上、下地幔的边界乃至更深 (~800 km) 的地幔, 但已有的证据也表明许多金伯利岩可能起源更浅部的软流圈与岩石圈的边界 (Tappe et al., 2013)。如此而言, 这是否意味着未去气的原生地幔可以在地幔对流过程中保存下来? 这一问题的回答对于区分MORB和OIB具有直接的意义。

(2) 本研究所利用的金伯利岩Hf-Nd同位素来自于全岩分析数据, 但考虑金伯利岩浆从深部上升到地表的过程中通常会携带大量的地幔和地壳包体。纵然细心处理样品可以很大程度地减小后期混染作用的影响, 但全岩的Nd-Hf同位素能否代表金伯利岩浆源区的特征仍有疑义。在这方面, 对金伯利岩中的钙钛矿开展Hf-Nd同位素分析可以有效地减小后期混染作用的影响 (Sun et al., 2014), 因此值得期待。

#### 主要参考文献

Hofmann A W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism[J]. *Nature*, 1997, 385(6613): 219-229. (链接)

Sun J, Liu C Z, Tappe S, et al. Repeated kimberlite magmatism beneath Yakutia and its relationship to Siberian flood volcanism: Insights from in situ U-Pb and Sr-Nd perovskite isotope analysis[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2014, 404: 283-295. (链接)

Tappe S, Pearson D G, Kjarsgaard B A, et al. Mantle transition zone input to kimberlite magmatism near a subduction zone: Origin of anomalous Nd-Hf isotope systematics at Lac de Gras, Canada[J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 2013, 371-372: 235-251. (链接)

Woodhead J, Hergt J, Giuliani A, et al. Kimberlites reveal 2.5-billion-year evolution of a deep, isolated mantle reservoir[J]. *Nature*, 2019, 573(7775): 578-581. (链接)

(撰稿: 刘传周, 孙晶/岩石圈室)



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© 2009-2020 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

