

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: 热液¹⁵N¹⁵N丰度指示地幔中氮的来源

2020-07-10 | 【大 中 小】【打印】【关闭】

氮气是地球大气圈的主要成分，也是构成生命必不可少的元素之一，了解地球氮元素的来源和演化过程具有重要的意义。然而大气中较高比例氮气的存在也使得来自地幔的样品普遍受到大气污染的影响，这对于研究地球深处挥发份（如氮、稀有气体等）的起源及运移过程是一个巨大的挑战。

地球对流地幔的 $\delta^{15}\text{N}$ 值为 $-5\% \pm 3\%$ ，地幔柱 $\delta^{15}\text{N}$ 值介于 0 和 $+3\%$ 之间，略高于对流地幔的值，与沉积物或蚀变洋壳的 $\delta^{15}\text{N}$ 比值近似。如何解释这些观测值还存在争议，除了在早期吸积过程中继承的原始氮这一观点外，地球独一无二的板块运动为地幔中氮的来源提供了另一种可能的机制。一种假设是，最初地幔具有类似于顽火辉石球粒陨石较轻的氮同位素特征（ $-20 \pm 11\%$ ，Grady and Wright, 2003），在漫长的演化过程中接受了来自地表氮的信号（ $\delta^{15}\text{N} = 3\%$ ），俯冲沉积物中氮的长期积累和改造掩盖了地幔中的原始氮同位素信息，从而形成了现今较重的氮同位素特征（Javoy et al., 1998; Barry and Hilton, 2016）。尽管如此，由于对地幔储库中氮的丰度知之甚少，地表氮在地幔中的积累机制仍存在不确定性，因而该解释还存在诸多争议。

针对这一问题，美国UCLA、伍兹霍尔海洋研究所等机构联合法、加、英、德、冰岛等多国学者采集了冰岛、德国Eifel以及美国黄石公园地热区的流体样品（包括干气、温泉逸出气及高压水并气等），通过推导气体样品的 $\delta^{15}\text{N}$ 、 $\text{N}_2/{}^3\text{He}$ 、 $\text{N}_2/{}^{36}\text{Ar}$ 等参数排除了深部氮循环过程中普遍存在的一些不确定性（例如空气污染），进而讨论其源区的丰度特征。

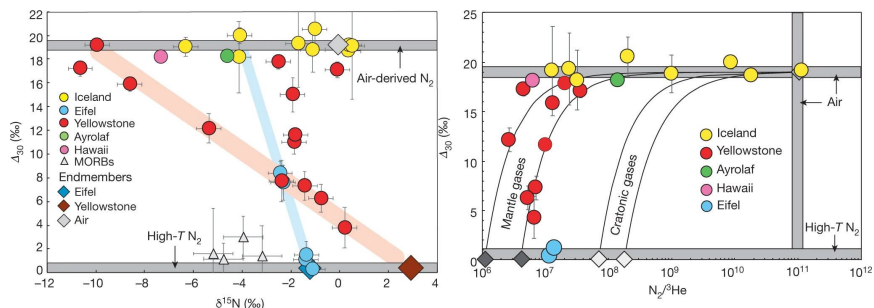


图1 火山气体 $\Delta_{30}-\delta^{15}\text{N}$ （左）与 $\Delta_{30}-\text{N}_2/{}^3\text{He}$ （右）协变图（Labidi et al., 2020）

研究中使用的样品为热液气体，与幔源岩石较低的气体含量相比，所包含的信息更为丰富，但同时更易受空气污染的影响，因此气体 $\delta^{15}\text{N}$ 比值蕴含的意义并不明确。除了常规的 $\delta^{15}\text{N}$ 比值，同位素在分子之中的排布方式也可以提供信息，例如，氮元素有两种同位素（ ${}^{14}\text{N}$ 、 ${}^{15}\text{N}$ ），因而双原子的 N_2 分子理论上存在三种同位素的组合，最常见的即 ${}^{14}\text{N}{}^{14}\text{N}$ 分子，而较罕见的为双取代的 ${}^{15}\text{N}{}^{15}\text{N}$ 分子。通过定义一个与 ${}^{15}\text{N}{}^{15}\text{N}$ 丰度相关的参数（ Δ_{30} ），可以有效区分样品中空气和地幔氮的不同贡献（Yeung et al., 2017）。所采用的公式如下所示：

$$\Delta_{30} = 30_{\text{R}} / (15_{\text{R}})^2 - 1 \text{ (‰)}, \text{ 其中 } 30_{\text{R}} = 15_{\text{N}}{}^{15}\text{N} / 14_{\text{N}}{}^{14}\text{N}, 15_{\text{R}} = 15_{\text{N}} / 14_{\text{N}}$$

作者通过分析富挥发分MORB样品中的氮，验证了在地幔等高温体系下 N_2 没有团簇同位素的异常，即上述 Δ_{30} 参数接近 0% （图1），而正常大气的 Δ_{30} 值为 $19.1 \pm 0.3\%$ （Yeung et al., 2017），因此大气极端过剩的 Δ_{30} 提供了一个量化天然流体中空气污染程度的工具。这种分析方法的一个重要特点是，即使存在大气污染的情况，数据分布的混合趋势亦可用于确定地幔的 $\delta^{15}\text{N}$ 近似值（图1）。采用的测量仪器为UCLA的超高分辨率“全景质谱（Panorama）”是目前世界上首个发表氮团簇同位素应用的实验室。

冰岛地热气体样品 $^3\text{He}/^4\text{He}$ (R_A) 显示地幔柱成因 ($8.5\sim 16.3 R_A$)， $\delta^{15}\text{N}$ 比值介于空气 (0‰) 和对流地幔 (-5‰) 之间，而 $\text{N}_2/^{36}\text{Ar}$ 、 $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比值却接近空气值，这使得气体中 N_2 的来源解释存在矛盾。样品 Δ_{30} 平均值为 $19.1 \pm 1.2\%$ ，与空气值基本一致 (图1)。俯冲过程中地表氮主要以 NH_4^+ 离子的形式渗入到有机质或层状硅酸盐的晶格中，所以不会有 $^{15}\text{N}^{15}\text{N}$ 的大气特征得以保存。因此，可以推断几乎所有冰岛气体样品中的 N_2 来源于地热系统内的空气混染作用。美国夏威夷火山区、非洲埃塞俄比亚Ayrolaf温泉气体样品也有类似的特征 (图1)。德国Eifel地区样品 $\delta^{15}\text{N}$ 和 $\text{N}_2/^{36}\text{Ar}$ 等比值略高于对流地幔，大多数样品的 Δ_{30} 值更接近高温体系 (0‰)，美国黄石地幔柱的样品 $\delta^{15}\text{N}$ 比值大于对流地幔的值，类似于地表成分，但其 $\text{N}_2/^{36}\text{Ar}$ 和 $\text{N}_2/^3\text{He}$ 比值却与对流地幔基本一致，这一观察增加了地幔柱拥有原始成分的可能性。

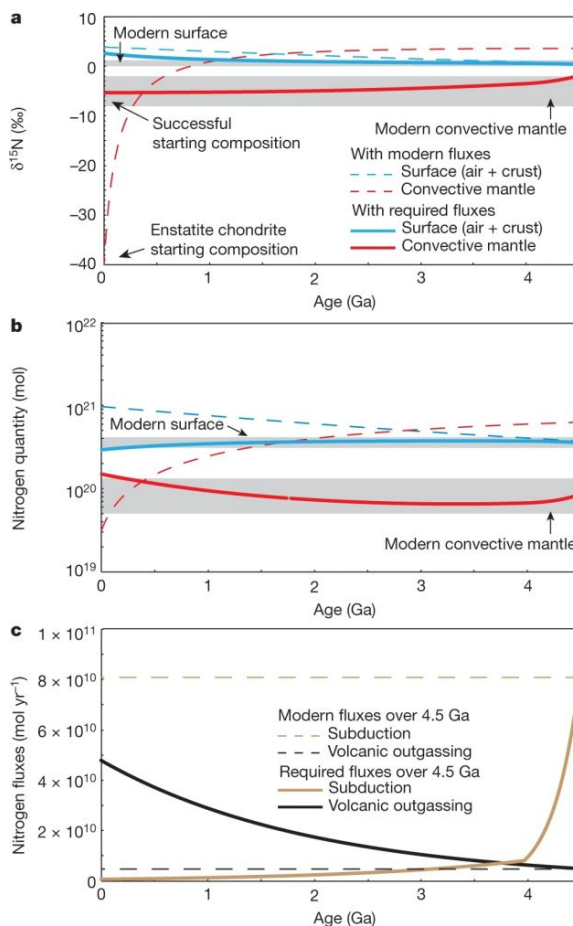


图2 地幔与地表 $\delta^{15}\text{N}$ 比值与氮丰度随时间的演化关系。图中需求通量 (Required fluxes) 指符合现今各项参数的最优模型通量，这种情况下，地质历史大部分时间里俯冲速率均低于火山排气速率 (Labidi et al., 2020)

此外，作者还开发模型进一步探索地幔及地表氮在地质历史时期的演化关系 (图2)。结果表明，在大部分时间里，对流地幔一直存在氮的净损失，俯冲作用对深部氮循环的影响可能远被高估。考虑到地表氮在地幔中的作用有限，作者认为，对流地幔和地幔柱较重的 $\delta^{15}\text{N}$ 比值可能主要反映了地球形成和早期分化过程中保留的原始特征。模型获得的另一个重要结论是，如果以现今地球排气和俯冲速率进行计算， $\delta^{15}\text{N}$ 比值最终会演化到一种稳态，并且地幔的 $\delta^{15}\text{N}$ 比值要比地表更高 (图2a虚线)，这与真实情况是相反的。

该研究认为，地热区的气体或幔源气体的 $\delta^{15}\text{N}$ 比值很可能是氮气来源的“伪示踪剂”，利用 Δ_{30} 这一新的同位素体系可以有效消除样品空气混染的干扰，从而提取其中所蕴含的深部信息。因此，对于前人基于地热、温泉等气体样品 $\delta^{15}\text{N}$ 比值所进行的研究及其获得的结论，例如地球内外储库的建立、物质循环过程示踪等，可能需要重新审视和评估。

【致谢：感谢科技平台冯连君高级工程师对本文提出的宝贵修改建议。】

主要参考文献

Barry P H and Hilton D R. Release of subducted sedimentary nitrogen throughout Earth's mantle [J]. *Geochemical Perspectives Letters*, 2016, 2: 148-159. (链接)

Grady M M, Wright I P. Elemental and isotopic abundances of carbon and nitrogen in meteorites[J]. *Space Science Reviews*, 2003, 106(1-4): 231-248. (链接)

Javoy M. The birth of the Earth's atmosphere: the behaviour and fate of its major elements[J]. *Chemical Geology*, 1998, 147(1-2): 11-25. (链接)

Labidi J, Barry P H, Bekaert D V, et al. 2020. Hydrothermal $^{15}\text{N}^{15}\text{N}$ abundances constrain the origins of mantle nitrogen [J]. *Nature*, 2020, 580(7803): 367-371. (链接)

Yeung L Y, Li S, Kohl I E, et al. Extreme enrichment in atmospheric $^{15}\text{N}^{15}\text{N}$ [J]. *Science Advances*, 2017, 3(11): eaao6741. (链接)

(撰稿: 赵文斌, 马琳/新生代室)



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© 2009-2021 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

