

专题20: 新型同位素体系的分析方法、示踪原理和重要应用

氧同位素微小非质量分馏在高温地质过程的示踪作用

拓万斐¹, 曹晓斌², 鲍惠铭², 刘耘^{1*}

1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002; 2. 美国路易斯安那州立大学地质与地球物理系, 美国Baton Rouge

洋岛玄武岩(OIB)是用来研究深部地幔的一个重要工具。对部分 OIB(如 Pitcairn, Mauna Loa 与 Iceland)的研究显示其源区有俯冲洋壳的加入, 这表明庞大的地幔储库并不能将俯冲洋壳完全均一化, 仍会有俯冲洋壳的信息被 OIB 携带折返。通过理论计算, 我们发现橄榄石的 $\Delta^{17}\text{O}$ (三氧同位素组成)不受高温体系(分离结晶和部分熔融)过程的影响, 因而我们希望能够利用 $\Delta^{17}\text{O}$ 作为一个新的工具来量化俯冲洋壳对 OIB 源区物质的贡献。

对一个同位素交换反应, 不同的同位素交换过程会产生不同的质量依赖分馏斜率(由实验数据数据得到的斜率常用 λ 代表, 理论计算得到的斜率常用 λ' 代表)。平衡分馏和动力学分馏的质量依赖分馏的斜率会略有不同, 平衡加动力学分馏就会产生一个相对于平衡分馏的小的氧同位素异常 $\Delta^{17}\text{O}$ 。在一定温度下, 两物质之间的分馏系数是一个常数, 不论其 $\delta^{17}\text{O}'$ 与 $\delta^{18}\text{O}'$ 值($\delta^x\text{O}' = \ln(1 + \delta^x\text{O})$, $\delta^x\text{O} = \frac{R^x}{R_{\text{ref}}^x} - 1$, $R = \frac{^{17}\text{O}}{^{16}\text{O}}$)如何变化, 其比值是不变的, 即 $\delta^{17}\text{O}'$ 与 $\delta^{18}\text{O}'$ 具有线性关系, 所以 $\Delta^{17}\text{O}$ 的定义式为 $\Delta^{17}\text{O} = \delta^{17}\text{O}' - \lambda \times \delta^{18}\text{O}'$ 。

我们工作的假设模型是: 在高温过程中(部分熔融, 分离结晶), 原始地幔中橄榄石的 $\Delta^{17}\text{O}$ 不会被改变; 而具有不同的 $\Delta^{17}\text{O}$ 值的俯冲洋壳加入原始地幔后, 则会改变 OIB 源区的 $\Delta^{17}\text{O}$ 值, 这些同位素信号最终被 OIB 中的橄榄石包体携带折返。为了验证这一假设模型, 我们的工作从两个方向展开: (1)理论计算高温体系下各相关橄榄石矿物对的质量依赖分馏系数; (2)利用一个原始地幔标准校正已发表的 OIB 橄榄石包体的 $\Delta^{17}\text{O}$, 最后进行对比分析。对(1)的验证采用基于 Bigeleisen-Mayer 公式(或 Uery 模型)计算, 并考虑一些高级校正是否会引入微小的氧同位素非质量分馏。目前已完成矿物对的计算结果显示高温条件下, 其质量依赖分馏斜率与采用的标准 $\theta = 0.5305$ 相差只有 0.0002, 对(2)的验证以 Ofu 橄榄石样品的 $\Delta^{17}\text{O}$ 值为标准重新校正, 校正公式为

$$\delta^x\text{O}_r = 1000 \ln \left[\frac{\delta^x\text{O}_o + 1000}{(\delta^x\text{O}_{\text{ofu-avg}} + 1000)} \right], \quad \Delta^{17}\text{O}_{\text{PM}} = \delta^{17}\text{O}_r - 0.5305 \times \delta^{18}\text{O}_r$$

基金项目: 国家自然科学基金(批准号: 41490635)

第一作者简介: 拓万斐(1994-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 理论与计算地球化学研究. E-mail: aa706503@163.com

*通信作者简介: 刘耘, 男, 研究员, 博士生导师, 研究方向: 改进稳定同位素核心平衡分馏理论和计算方法, 为新兴稳定同位素方向建立新的理论和公式, 扩展稳定同位素地球化学. E-mail: Liuyun@vip.gyig.ac.cn