

专题27: 早期地球的形成与演化

硅酸盐熔体和铁熔体间的Si同位素分馏

杨宇红¹, 刘耘^{2*}

1. 中国科学院 地球化学研究所, 月球与行星科学研究中心, 贵阳 550002; 2. 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

球粒陨石被认为是能够代表地球的原始吸积材料,也是获知地球整体化学组成的最重要渠道。近年来一些研究指出,相较球粒陨石,硅酸盐地球的Si同位素组成($\delta^{30}\text{Si}_{\text{BSE}}$)显著偏重。目前被广为接受的解释是:地球整体的Si同位素组成与球粒陨石是一致的,地球核幔分异过程中Si同位素在硅酸盐熔体和铁熔体间发生的分馏使偏重的Si同位素更倾向富集于硅酸盐地球中。针对这一假说,数个实验和理论计算工作进行了验证。但是,目前相关实验的操作压力远低于核幔分异的压力条件,而且不同实验室给出的Si同位素分馏系数也存在近一倍的差距。现有的理论计算工作也全部基于各种硅酸盐矿物晶体和铁合金晶体。为了更精确地评估核幔分异对地球Si同位素分布的影响,我们采用了第一性原理分子动力学的方法计算了10GPa至100GPa压力条件下硅酸盐熔体和铁熔体间Si同位素的分馏系数与温度的关系。我们的计算结果与Hin等(2014)的实验结果非常吻合。此外,我们评估了压力效应对Si同位素分馏系数的影响,并基于Si-O、Si-Fe键长和Si-O、Si-Fe配位数分析了压力效应的微观机理。

我们将Si同位素分馏的计算结果带入了地球吸积和核幔分异的模型中,讨论了各种因素对硅酸盐地球Si同位素组成的影响。我们考虑的因素包括“连续吸积模型”与“单相吸积模型”、“平衡分馏模型”与“瑞利分馏模型”、“岩浆洋底部温度-压力关系”、“岩浆洋氧逸度”、“Si元素分配系数”、“吸积材料与岩浆洋间的化学平衡程度”。综合考虑各种因素,我们认为地球核幔分异能够解释硅酸盐地球Si同位素组成的前提条件是吸积材料的金属核只有小部分与岩浆洋发生平衡。该结论与Fischer和Nimmo(2018)基于Hf-W同位素体系的研究结论相一致,也与前人一些基于流体力学模拟得到的非平衡核幔分异的结论相一致。

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(批准号: 41403013, 41530210)

第一作者简介: 杨宇红(1984-), 女, 副研究员, 研究方向: 地球吸积与核幔分异. E-mail: yangyuhong@mail.gyig.ac.cn

*通信作者简介: 刘耘(1968-), 男, 研究员, 研究方向: 计算地球化学. E-mail: liuyun@vip.gyig.ac.cn