

· 专题 4: 地球内部挥发分: 分布和效应 ·

地球深部的碳同位素分馏计算

杨宇红, 刘耘

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

碳元素是地球上最重要的化学元素之一。地球大气中的碳含量深刻影响着全球气候。碳元素也是组成生命物质的必要元素之一, 是地球生命形成和演化的物质基础。在地球的深部, 碳元素的存在会降低地幔的固相线, 进而影响岩浆活动。地震学的数据指出地核的密度比相应条件下任何比例的铁镍合金都偏轻, 这意味着地核中存在着一种或多种比铁质量偏轻的元素。碳由于其较低的原子量、较高的宇宙丰度和亲铁性被认为可能是导致地核密度偏轻的元素之一。碳元素进入地核的可能方式是: 在地球早期核幔分异过程中, 相当一部分碳随着富铁金属合金沉入到地核中。一些行星化学研究结果指出, 在核幔分异过程中, 各种亲铁元素在形成地幔的硅酸盐熔体和形成地核的富铁金属合金熔体之间不断交换, 最终在岩浆洋底部达到化学和同位素平衡。因此, 作为亲铁元素的碳, 也很可能在核幔分异的过程中, 在地球的硅酸盐部分(地壳和地幔)和金属部分(地核)之间发生了同位素的分馏。目前人们通过总结幔源矿物中的碳同位素信号发现, 地幔的碳同位素信号的均值为 $\delta^{13}\text{C} = -5\text{‰}$ 。这与各种球粒陨石, 以及来自灶神星和火星的陨石所携带的碳同位素信号(约为 $\delta^{13}\text{C} = -20\text{‰}$)相比明显偏重。碳同位素在地球核幔之间的分馏被认为是引起地球硅酸盐

部分碳同位素信号偏重的一个可能原因。但是目前对于在核幔分异的条件下, 硅酸盐熔体和铁熔体间碳同位素分馏系数的研究还非常的匮乏。为了验证碳同位素在核幔分异过程中的分馏能否引起硅酸盐地球碳同位素信号 $\delta^{13}\text{C}$ 偏重约 15‰ , 我们采用了第一性原理方法研究了硅酸盐熔体和液态铁间碳同位素的平衡分馏系数。我们的计算结果指出, 相对于较重的碳同位素 ^{13}C , 较轻的碳同位素 ^{12}C 更倾向于富集于地核中。这与幔源样品比陨石样品的中碳同位素信号偏重的观察事实, 在方向上是相一致的。此外, 我们还研究了压力和氧化还原条件对碳同位素在 2 种熔体间分馏系数的影响。我们发现硅酸盐熔体越氧化, 碳同位素在 2 种熔体间的分馏就越明显; 在不同氧化还原条件下, 压力效应对碳同位素平衡分馏的影响也不相同。基于平衡分馏模型和瑞利分馏模型, 我们分别讨论了核幔分异过程中的碳同位素分馏对地球硅酸盐部分的碳同位素信号所造成的影响。利用平衡分馏模型无法解释硅酸盐地球碳同位素比球粒陨石偏重 15‰ , 但是我们详细分析了可能的原因。利用瑞利分馏模型, 我们发现地球上的碳至少有 90% 进入到了金属核之中, 也就是说地核可能是地球上最大的碳储库。