

专题26: 月球的形成和演化——基于嫦娥工程的新认识

K同位素测试方法与典型地质标样测试

许英奎^{1,2,3}, 胡妍², 陈欣阳², 黄天一²,
Ronald S. Sletten⁴, 朱丹^{5,3}, 滕方振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. Isotope Laboratory, Department of Earth and Space Sciences, University of Washington, Seattle, WA 98195, USA; 3. 中国科学院比较行星学卓越创新中心; 4. Quaternary Research Center, Department of Earth and Space Sciences, University of Washington, Seattle, WA 98195, USA; 5. 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

钾是半挥发性元素, 其在星云中的半凝聚温度为 1006K。太阳系行星尺度的 K 同位素不均一, 地球 K/U 比值大约为球粒陨石的 1/5, 月球 K/U 比值大约为地球的 1/5。这种不均一普遍为由两种原因造成: (1) 星云凝聚过程中挥发性元素未完全凝聚; (2) 行星形成过程中经历的高温碰撞导致挥发性元素丢失。地球-月球诸多同位素体系显示高度一致的同位素组成(O、Ti、W、Cr 等), 同时也有一些同位素显示出地-月不一致的结果(Cl、Zn、Cd 等)。最近 MC-ICPMS 测试 K 同位素取得了重要进展(Wang 和 Jacobsen, 2016a, b; Li 等, 2016; Morgan 等, 2018; Santiago Ramos 等, 2018; Hu 等, 2018; Chen 等, 2019), 并识别出地-月 K 同位素存在约 0.4‰ 的差别, 该结果可以支持月球起源高能碰撞模型, 然而具体的月球起源大碰撞和 K 同位素的分馏过程并未解释清晰。考虑到之前地-月样品 K 同位素数据尚少、覆盖的岩石种类有限、代表性不强, 本研究通过阳离子交换树脂对目标元素 K 进行分离纯化, 通过冷焰法降低 Ar 离子团的干扰, 在高分辨模式下对 K 同位素进行准确测试。在此基础上, 对一系列典型国际地质标样进行了 K 同位素测试 (Xu 等, 2019)。

K 淋洗曲线及仪器测试: K 的化学分离通过使用 Bio-Rad AG50W-X8 (200~400mesh) 树脂和 0.5N HNO₃ 淋洗介质。K 的淋洗区间为 15~36ml。通过两次化学交换柱可以将基质元素有效分离。分析仪器为 Nu Plasma II, 通过使用冷焰+高分辨模式, 有效去除 Ar 离子团干扰, 实现对 K 同位素的精确测量。

K 同位素精度和准确度测试: 分别使用纯 K 溶液、含 K 多种元素混合溶液和 K 元素掺杂地质样品基质元素的三种方法对 K 化学分离和测试进行准确度检验。检验结果显示, 该方法可以在±0.06‰的误差范围内对样品 K 同位素进行准确测量。

典型地质样品 K 同位素测试结果: 通过该方法测试了 23 个国际地质标样和夏威夷海水样品的 K 同位素组成。结果表明: (1) 23 件国际标样的 $\delta^{41}\text{K}$ 变化范围为-0.562‰~-0.253‰; (2) 海水的 $\delta^{41}\text{K}$ 为 0.143‰, 比火成岩重约 0.55‰; (3) 高温-低温过程均可导致 K 同位素分馏。约束地球平均 K 同位素组成尚需更多详细的 K 储库同位素研究。