

镓 (Ga) 及其同位素地球化学

袁玮 陈玖斌*

中国科学院地球化学研究所 贵阳 550081

镓 (Ga) 于 1875 年由法国化学家 Lecoq de Boisbaudran 发现, 迄今对其地球化学性质和行为的认知还非常有限。

Ga 在地质研究就中有重要价值。一方面, 在元素周期表中, Ga 和铝 (Al) 在同一主族, 其化学性质与 Al 相似, 可以用 Ga 来模拟主量元素 Al 的地球化学性质, 另一方面, 利用 Ga 和 Al 化学性质 (如浓度) 的差异性, 可以进一步认知和模拟海洋、河流、风化过程中痕量元素的地球化学行为。同时, Ga 也可与硼 (B) 共同表征陆生和海生的环境变化。尽管 Ga 几乎存在于所有植物体中, 参与多种生物地球化学过程, 并且表现出生物选择性, 但目前 Ga 的生物地球化学性质尚不明确。另外, Ga 在地幔和地核中的分布可能还是地幔分异过程中物质来源、物理化学过程和动力学过程的有效示踪剂。在天体化学方面, Ga 也被用于划分铁陨石的类别。尽管 Ga 在地质不同领域研究中展现了重要应用价值, 但很多自然过程中 Ga 的地球化学行为的认知还不完善。

在经济上, 单质 Ga 被广泛地应用于电子、航空等高科技领域, 已有供不应求的趋势, 从而迫切地需要寻找除粘土矿、闪锌矿以外其它潜在的 Ga 源, 或者从低含量地质样品中纯化及富集 Ga 的方法。同时, 也正是因为人类对 Ga 的大量使用, 可能会进一步干扰 Ga 在自然界的地球化学循环 (例如, 人为增加 Ga 的海洋通量)。因此, 需要进一步判定人为活动对 Ga 生物地球化学循环的干扰。

由此可知, 无论是地球化学性质上, 还是经济价值上, Ga 都表现出了独特广泛而又不可替代的研究潜力。尽管之前的研究学者通过浓度和形态等分析已经显著地增加了大家对 Ga 的地球化学性质的了解, 但目前仍然缺少对很多地球化学过程中的 Ga 的地球化学行为及相关机理的认知。

与仅具有单一稳定同位素的主量元素 Al 不同, Ga 具有两个稳定同位素, 因此 Ga 同位素可为进一步认知 Ga, 甚至 Al 的地球化学行为提供新的研究工具。Ga 有两个稳定同位素, ^{69}Ga 和 ^{71}Ga , 其丰度分别为 60.1% 和 39.9%。前人研究表明 Ga 的形态、化学键等会随着地质条件 (pH、T 等) 的改变而发生变化, 而这些条件的变化可能使 Ga 同位素发生较大分馏, 从而导致不同地质储库保存不同的 Ga 同位素组成信息。加之 Ga 在自然界中仅有 Ga^{3+} 一种价态, 不会受氧化还原过程的影响, 故 Ga 同位素能最原始的反应一些特殊的地质过程, 如矿物吸附、沉淀过程。同时, Ga 同位素组成也可能在一些特殊的生物地质过程中发生变化, 例如, 苔藓和地衣较其它植物而言, 会优先吸收和富集 Ga 元素, 从而可能进一步导致 Ga 同位素分馏。目前, 对于 Ga 同位素的研究还几乎是空白, 主要原因是缺乏提纯 Ga 及测试 Ga 同位素比值的方法。近期, 国际上已有几个课题组已经开发了 Ga 稳定同位素测试方法, 均是先利用树脂对 Ga 元素提纯富集、再利用多接收等离子体质谱仪 (MC-ICP-MS) 准确测试 Ga 稳定同位素比值。目前初步结果表明 Ga 同位素变化范围达 1.83‰, 并且工业生产的标准物质与地质标样具有不同的 Ga 同位素组成, 这也预示着 Ga 同位素体系在 Ga 地球化学领域具有广泛的潜在应用前景和研究价值 (例如, 区分 Ga 的人为和自然源)。Ga 同位素体系为深入了解自然界中 Ga 地球化学行为、Ga 同位素组成特征及探索 Ga 同位素应用前景奠定了基础。然而, 迄今很多地质储库中的 Ga 同位素组成还是空白, 一些基本地球化学过程中的 Ga 的同位素分馏还是未知数, 亟待进行深入研究。

参考文献

- (1) Shiller, A.M. Enrichment of dissolved gallium relative to aluminum in natural waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1988, 52: 1879-1882.

(2) Pokrovski, G.S. et al. (2002) An X-ray absorption fine structure and nuclear magnetic resonance spectroscopy study of gallium-silica complexes in aqueous solution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2002, 66: 4203-4222.

(3) Yuan, W. et al. (2016) Precise Analysis of Gallium Isotopic Composition by MC-ICP-MS. *Analytical Chemistry*, 2016, 88: 9606-9613.