

· 专题 9: 同位素新技术、新理论及新应用 ·

## 高精度镓(Ga)同位素分析方法及潜在应用

袁玮<sup>1,2</sup>, 陈玖斌<sup>1\*</sup>, Jean-Louis Birck<sup>3</sup>, 尹祚莹<sup>1</sup>, 袁圣柳<sup>1</sup>,  
蔡虹明<sup>1</sup>, 王中伟<sup>1</sup>, 黄强<sup>1</sup>, 王柱红<sup>1</sup>

1. 中国科学院 地球化学研究所, 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550081;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 巴黎地球物理学院 天体地球化学实验室, 法国 巴黎 75252

镓(Ga)于1875年由法国化学家——Lecoq de Boisbaudran发现(Shaw, 1957), 而因其具有独特的地球化学性质和经济价值应该得到广泛关注。Ga化学性质与铝(Al)相似, 但Al只具有单一稳定同位素, 而Ga是具有2个同位素的分散微量元素。镓在地质研究中有重要价值, 一方面, Ga与Al相似的化学性质可以用Ga来模拟Al的地球化学性质(Burton, 1959; Orians and Bruland, 1988; Shiller, 1988; Diakonov *et al.*, 1997; Pokrovsky *et al.*, 2004), 另一方面, 利用Ga和Al化学性质的差异性, 可以模拟海洋(Orians and Bruland, 1988; Shiller, 1988; Yamamoto *et al.*, 1976)、河流(Shiller, 1988; Shiller and Frilot, 1996)、风化过程(Shiller and Frilot, 1996; Hieronymus *et al.*, 1990)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(Chen *et al.*, 1997)。Ga也表现出生物选择性, 但目前Ga的生物地球化学性质尚不明确(Poledniok, 2008)。在天体化学方面, Ga也被用于划分铁陨石的类别(Lovering *et al.*, 1957; Wasson, 1967; Wasson and Schaudy, 1967; De Laeter, 1972)。在经济上, 单质Ga被广泛地应用于电子、航空等高科技领域(Lovik *et al.*, 2015; Gupta *et al.*, 2007), 已有供不应求的趋势(Katrak and Agarwal, 1981; Ibragimov and Budon, 2010)。人类对Ga的大量使用会干扰Ga的地球化学循环。尽管这些研究已经显著地增加了对Ga元素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Ga的地球化学行为及相关机理的认知, 因此亟待进行深入研究。

稳定同位素有助于元素地球化学行为的研究。

在过去的十年里, 新一代多接收电感耦合等离子体的应用及分析提纯技术的提高, 众多金属同位素比值都可以得到精确测试(Marechal *et al.*, 1999; Zhu *et al.*, 2000; Hintelmann *et al.*, 2003; Chen *et al.*, 2009; 2010), 从而大大地推进了对相应地学领域的新认识。通过理论计算、实验验证及应用研究, 大量的研究报道了不同地质体中金属同位素组成特征, 并且这些金属同位素在生物地球化学过程, 如吸附(Pokrovsky *et al.*, 2005; Juillot *et al.*, 2008)、生物吸收(Weiss *et al.*, 2005; Gélabert *et al.*, 2006)、溶解(Rodushkin *et al.*, 2004)、沉淀(Immenhauser *et al.*, 2010)和风化过程(Bullen, 2014)中会产生较大分馏。对于Ga, 前人仅开展其浓度和形态分析, 同位素的研究几乎还是空白, 主要原因是缺乏提纯Ga及测试其同位素比值的方法。

Ga有2个稳定同位素,<sup>69</sup>Ga和<sup>71</sup>Ga, 其丰度分别为60.1%和39.9%(De Laeter, 1972)。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(Diakonov *et al.*, 1997)。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具有不同的Ga同位素组成。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, 苔藓和地衣优先吸收和富集Ga元素可能进一步导致Ga同位素分馏(Poledniok, 2008)。然而, 除上世纪中期有少量的学者对Ga同位素进行了有限的研究外(De Laeter, 1972; Aston, 1935), 当前国际上对于Ga同位素分馏的报道甚少。

鉴于此, 我们建立了利用双树脂(AG1-X4和

基金项目: 国家自然科学基金委和广东省联合基金项目(U1301231); 国家自然科学基金国际合作重点项目(41561134017)

第一作者简介: 袁玮(1989-), 女, 博士研究生, 研究方向: 环境金属稳定同位素。E-mail: yuanweiodut@163.com.

\* 通讯作者简介: 陈玖斌, 男, 研究员。E-mail: chenjiubin@vip.skleg.cn.

Ln-spec 树脂)从地质(或生物)样品中 100% 提纯 Ga,并利用 MC-ICP-MS 精确测试 Ga 稳定同位素比值( $\delta^{71}\text{Ga}$ )的方法。经过验证,该提纯方法 Ga 的回收率为  $99.8 \pm 0.8\%$  (2SD,  $n=23$ ),  $\delta^{71}\text{Ga}$  的测试精度优于  $0.05\%$  (2SD)。目前,该方法测试的 10 个样品中,初步结果显示 Ga 的同位素变化范围为  $1.83\%$ ,并且工业生产的标准物质与地质标准具有完全不同的 Ga 同位素组成,工业生产物的

$\delta^{71}\text{Ga}$  ( $1.74\% \sim 1.83\%$ ) 显著高于地质标样的  $\delta^{71}\text{Ga}$  ( $0.02\% \sim 0.11\%$ ),这预示着 Ga 同位素体系在 Ga 地球化学研究领域具有广泛的潜在应用前景和研究价值(例如,区分 Ga 的人为源与自然源)。

此方法开辟了地球化学研究领域的一个新同位素体系,同时为了解自然界中 Ga 地球化学行为、Ga 同位素组成特征及探索 Ga 同位素的应用前景提供了新研究工具。