

· 同位素地质年代学和同位素地球化学 ·

二元同位素 (clumped isotope) 方法的介绍

刘 琪, 唐 茂, 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

Clumped Isotope (本课题组将其翻译成“二元同位素”), 它是近几年由美国加州理工大学 John Eiler 教授研究组倡导发展起来的稳定同位素前沿领域之一 (Eiler 和 Schauble, 2004; Wang 等, 2004; Eiler, 2006; Schauble, 2006; Eiler, 2007)。一直以来, 围绕稳定同位素地球化学所展开的工作都只针对仅含有一个稀少同位素的体系进行研究。比如当我们谈论水中 ^{18}O 的浓度时, 不去考虑存在的 H_2^{18}O 或 HD^{18}O 或 D_2^{18}O 的不同情形。二元同位素就是研究被长期忽略的“稀-稀”同位素体 (isotopologue) 的浓度 (如 HD^{18}O)。因为含有两个或多个稀少同位素的分子经常只占该分子总数的百万分之一甚至更少, 这种研究需要仪器可以精确测定二元同位素的浓度, 而这种需求在今天已经逐渐满足。

这些稀少的二元同位素体系在地球中无处不在, 种类繁多, 但是它们在地学研究中能够发挥什么作用? 应用前景尚不清楚, John Eiler 研究组只开发了其中一种用途: 单一相物质测温。单一相物质测温是指仅依靠一种矿物或分子的同位素成份, 就可以得到它形成的温度。但是, 仅这一应用, 就足以使二元同位素成为一个令人兴奋的领域, 也让 John Eiler 获得在 2006 年戈尔德施密特大会上介绍这一新兴方向的机会 (Gast lecture)。

实例之一, 是 John Eiler 他们建立了碳酸盐 ^{13}C - ^{18}O 测温方法。这和 Urey 提出的经典的碳酸盐-水的氧同位素温度计不同, 二元同位素测温是建

立在单一物象内部均相平衡上的, 可以解决长期困扰地学界的获得精确古温度的问题。这种测温法不需要了解碳酸盐以外矿物 (比如古海水) 的同位素比值。John Eiler 等应用此方法确定隆升高原中土壤碳酸盐的成长温度, 并与“surface lapse rate”相比较, 从而限定它的抬升历史。未来重要的应用还可能包括了对古代化石中骨骼同位素信息的测定, 这方面的突破可能可以帮助我们了解到古代生物的体温, 比如恐龙。

实例之二, 笔者采用同样的原理, 提出可以使用甲烷和 CO_2 中二元同位素的成分确定天然气的形成温度和来源, 我们详细计算了不同温度下 $^{13}\text{CDH}_3$ 和 $^{13}\text{C}^{18}\text{OO}$ 等二元同位素的浓度与平衡常数之间的关系 (唐茂等, 2007)。最近加州理工大学的 Ma 等 (2008) 也发表了类似的、结合实验数据的工作 (Ma 等, 2008), 他们的结果同我们的非常接近, 肯定了这一应用方面。火星上发现甲烷气体的成因争论很大, 笔者认为只要有较精细的该甲烷光谱数据, 也可以通过二元同位素方法得到其生成温度, 就可以判别该甲烷是不是生物成因。可以预见, 在地学及天体化学领域将有巨大的单相物质测温需求, 二元同位素方法提供了解决这一问题的途径。

我们还将简单介绍二元同位素在到达内部平衡时所需最少反应步骤的确定方法, 以及一些潜在的重要新的二元同位素体系的平衡参数。