

· 非传统同位素的理论、分析方法和应用 ·

氧同位素质量依赖分馏线的理论研究

曹晓斌, 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

同位素的非质量依赖分馏在稳定同位素地球化学领域有着广泛的应用, 而质量依赖分馏线 (MDFL) 在这些研究中扮演着特殊的角色。MDFL 一般针对某一特定的过程定义, 是鉴别发生有别于这一参考过程其它同位素分馏行为的重要依据。在以往的研究过程中, 氧同位素的 MDFL 往往以类地线 (TFL) 的形式出现, 主要用以鉴别除平衡过程、动力学过程等以外的其它分馏机制, 如核合成过程、光化学反应等。随着氧同位素测试精度的不断提高, 质量依赖分馏的研究又有了新的发展, 它不仅不仅可以鉴定出非质量依赖分馏行为, 而且可以区别差别很小的质量依赖分馏行为; 如不同的平衡过程, 平衡过程与动力学过程等, 传统意义上的 TFL 这时便不再适用, 针对某一过程的高精度质量依赖分馏线便成为研究问题的关键; 如 Barkan and Luz (2005, 2007) 就精确测定了水与水蒸汽平衡过程与扩散过程的质量依赖分馏线的斜率为 0.529 vs. 0.518, 这种微小的差别已经被用来研究全球湿度的变化。但是, 采用试验的方法精确测定 MDFL 的斜率是非常困难的, 它不仅要求非常高的测试精度, 而且有些试验在一般条件下很难达到平衡。针对这一问题, 我们研究了采用从头计算确定平衡过程 MDFL 斜率的方法。结果表明, 不同的平衡过程其 MDFL 是不一样的, 而且随着温度的变化而变化; 不同的计算方法之间结果差别不大, 非谐效应对最终结果基本没有影响; 同时我们还精确计算了水与

一些物质之间平衡分馏 MDFL 的斜率值。

尽管平衡是一种基本过程, 但自然界的很多行为是非常复杂的, 往往是几种基本过程的复合行为。即便是简单的 Rayleigh 分馏, 它的 MDFL 斜率与平衡过程也稍有不同; 因此单纯研究平衡分馏的 MDFL 斜率是不够的。我们研究了海水的蒸发过程及大气的降雨过程。蒸发是平衡和扩散两种分馏行为的复合过程, 它的 MDFL 斜率不仅与平衡分馏常数 α_{eq} 及扩散分馏常数 α_{diff} 有关外, 还与海面上空的空气湿度有关, 如相对湿度从 0 变到 1 的过程中, 蒸发过程 MDFL 的斜率从 0.525 变到 0.529。降雨过程则比通常认为的 Rayleigh 过程复杂的多。基于 Merlivat and Jouzel (1979) 提出的模型, 雨水的 MDFL 斜率可以表达为两项乘积的形式: 第一项代表 Rayleigh 分馏过程, 第二项则与降雨云团的水蒸气的混合比 (Mixing Ratio)、云团中液态水与气态水的相对含量及降雨温度等有关系。结果显示, 雨水的 MDFL 斜率主要受 Rayleigh 过程控制, 但第二项对它也有一定的影响。如 Rayleigh 过程给出的斜率值为 0.528, 而最终结果在 0.5275~0.5283 之间变化。尽管这种变化很小, 但对于微小非质量依赖分馏 ($^{17}\text{O-excess}$) 的解释是很重要的。

总结起来说, 不同的过程其 MDFL 的斜率值是不一样的, 而如果要研究微小的氧-17 异常信号, 高精度的 MDFL 斜率值是必不可少的条件。