

矿物结合水氢同位素指示化学风化程度？

杨承帆¹⁾, 杨守业²⁾, 苏妮²⁾

1) 同济大学海洋与地球科学学院, 上海, 200092;

2) 同济大学海洋地质国家重点实验室, 上海, 200092

化学风化作为地球表层生物地球化学循环的关键过程, 起着联系地球表层各圈层的纽带作用, 在对地球不同圈层中元素进行再分配的同时, 直接或间接的影响着全球气候, 因此化学风化与各圈层相互作用研究已成为近年来全球变化和地球系统科学研究的热点 (Lupker et al., 2012)。目前通过沉积物性质分析, 提出指示化学风化的各类指标已有很多, 主微量元素、同位素、磁性参数等多达几十种 (Nesbitt and Young, 1982; Pistiner and Henderson, 2003; Su et al., 2015), 但利用矿物结合水来指示化学风化的文献较少, 鲜有人提及。化学风化的实质是表生条件下的水岩相互作用, 同时矿物结合水能较好的保存风化作用时水的同位素信息, 而不会与周围环境再交换 (Sheppard and Gilg, 1996), 因此沉积物中结合水氢同位素是否能指示化学风化是本研究重点。

样品选用原地风化样品, 于 2014 年 4 月采自湖南攸县一个玄武岩风化剖面 (113°21.799' E, 27°11.233' N)。剖面高度约 15 m, 采样间隔为 10~30 cm。共采集样品 30 个, 野外置于密封袋内除空气保存, 后续于实验室冷库低温保存。风化剖面上层约 50 cm 为表土层, 含有植物根系, 向下出现砖红色结块, 含有大量粘土, 下部逐渐过渡为半风化、未风化基岩 (玄武岩)。结合前人研究以及热重数据 (Savin and Epstein, 1970), 采用 300℃加热一小时的方法去除吸附水及层间水, 同时该温度下有机质会完全分解而不会影响到结合水氢同位素组成 (Sheppard and Gilg, 1996)。去除吸附水和层间水后, 升温到 900℃提取结合水并测试氢同位素组成。

化学风化过程中元素迁移具有一定的规律, 易迁移元素 (Ca、Na) 优先淋失, 化学风化中期 K

元素淋失, 而不易迁移元素 (Al、Fe) 相对富集 (Duzgoren-Aydin et al., 2002), 但是攸县风化剖面元素变化为 Na、Ca 的大量淋失, Si、K 富集, Al、Fe 先富集后淋失, 且元素趋势整体呈现三段式变化, 与化学风化过程中常量元素组成变化趋势并不一致 (图 1)。现代风化过程与成土过程紧密相连, 二者不易区分, 通常风化剖面上部发育一层很厚的土壤层。土壤层以母质层 (C) 为基础发育而来, 表层腐殖质层 (A) 富含大量有机质, 在湿润气候条件下产生有机酸, 风化产生的 Al 和 Fe 被有机酸络合带到淀积层 (B), 该层富含粘土矿物而贫有机质, 有机酸络合的 Fe、Al 在此形成氧化物或氢氧化物, 也可能与土壤中其他成分反应而生成次生粘土矿物。成土作用的影响使得风化剖面内元素进行再分配, 粘土矿物溶解再结晶的过程可能对结合水氢同位素组成产生影响。

Nesbitt and Young (1982) 提出的化学风化指数 CIA ($CIA = (100)[Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)]$, CaO^* 代表硅酸矿物 Ca 含量) 已被广泛运用到地学研究各个领域, 但公式中认为 Al 为稳定元素, 在风化过程中不会发生变化, 与湖南风化剖面实际情况不符。本文采用淋失较快的三个元素含量 (Ca、Mg、Na) 与母岩平均组成的比值作为指示风化程度的指标; 将结合水氢同位素值与其进行对比发现 (图 2), 在不受成土作用影响的母质层, 二者呈正相关关系, 显示随着风化作用的增强结合水氢同位素值逐渐增大; 而在受成土作用影响的淀积层, 二者呈负相关关系, 显示随着风化作用的增强结合水氢同位素值逐渐减小。

注: 本研究为国家自然科学基金杰出青年科学基金项目 (41225020); 国家自然科学基金项目 (41376049) 资助的成果本文。

收稿日期: 2015-09-28; 改回日期: 2015-09-28; 责任编辑: 刘恋。

作者简介: 杨承帆, 1991 年生, 博士, 海洋科学专业。E-mail: asd9123ycf@163.com, 手机号: 18964529690。

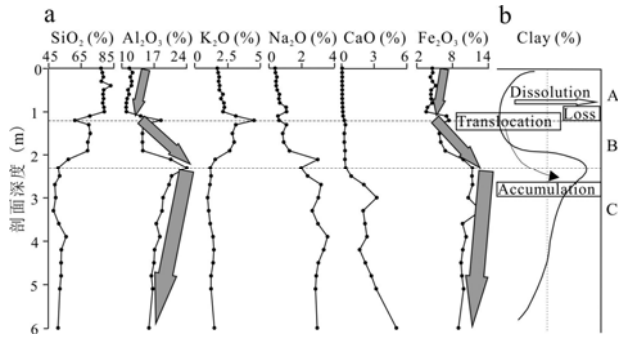


图 1 主量元素组成及剖面划分
(b 引自 Velde and Meunier, 2008)

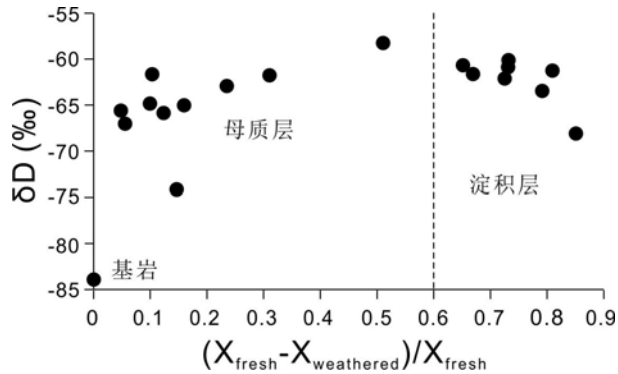


图 2 结合水氢同位素指示化学风化 ($X = \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{MgO}$)

化学风化过程中长石蚀变为粘土矿物，水中的氢不断进入矿物晶格中，是沉积物中结合水的主要来源，部分 Al、Fe 氢氧化物也会提供少量的结合水，因此粘土矿物是结合水主要赋存矿物。在母质层粘土矿物主要来源于化学风化过程，结合水保存了原始水氢同位素信息，能较好的反应化学风化；而上部淀积层中的粘土矿物可能受成土影响或直

接为成土作用产物，其结合水的氢同位素组成已被现代过程所改变。

参 考 文 献/References

- Duzgoren-Aydin N S, Aydin A, Malpas J. 2002. Re-assessment of chemical weathering indices: case study on pyroclastic rocks of Hong Kong. *Engineering Geology*, 63(1): 99~119.
- Lupker M, France-Lanord C, Galy V, et al. 2012. Predominant floodplain over mountain weathering of Himalayan sediments (Ganga basin). *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 84: 410~432.
- Nesbitt H W, Young G M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 299(5885): 715~717.
- Pistiner J S, Henderson G M. 2003. Lithium-isotope fractionation during continental weathering processes. *Earth and Planetary Science Letters*, 214(1): 327~339.
- Savin S M, Epstein S. 1970. The oxygen and hydrogen isotope geochemistry of clay minerals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 34(1): 25~42.
- Sheppard S M F, Gilg H A. Stable isotope geochemistry of clay minerals[J]. *Clay Minerals*, 1996, 31(1): 1~24.
- Su N, Yang S Y, Wang X D, et al. 2015. Magnetic parameters indicate the intensity of chemical weathering developed on igneous rocks in China. *Catena*, 133: 328~341.
- Velde B, Meunier A. 2008. The origin of clay minerals in soils and weathered rocks [M]. Berlin: Springer.