

· 环境矿物学 ·

硅酸盐矿物风化作用研究进展及分析、展望

——以长石为例

莫彬彬^{1,2}, 连 宾¹

1. 中国科学院 地球化学研究所, 贵阳 550002; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049

矿物的风化作用是发生在地表的一种重要的地球化学过程, 其中生物风化是近年来地学研究的热点之一。硅酸盐矿物是地球表面最重要的矿物, 其风化作用对于全球 CO₂ 循环及气候变化、土壤和次生矿物的形成有显著影响。长石是最常见的硅酸盐矿物之一, 其风化作用有着特殊的地位。

1. 研究现状

(1) 长石的自然风化作用: 矿物在物理、化学、生物等诸多因素的共同作用下发生自然风化。根据研究成果, 长石自然风化有两点共性: 1) 风化产物为含水的铝硅酸盐矿物, 除铝和硅外, 其他金属阳离子所占比例减少。2) 除了有少量非晶物质外, 风化产物均为层状硅酸盐矿物。这一现象对进一步的研究工作有一定的启示作用。

(2) 长石的人工化学风化作用: 人为模拟自然条件下温度、压力、水溶液及相关的无机和有机离子浓度, 对矿物风化的过程和机理进行实验研究, 结果表明, 长石溶解性质受到 pH 值、有机酸/有机络合物、离子浓度、次生矿物形成等主要因素的影响, 但是这些因素是如何共同作用、如何相互制约、如何控制风化过程与风化产物, 还有待进一步研究。

(3) 长石的生物风化作用: 在生物生长过程中, 其生命活动和代谢产物对矿物产生了风化作用。微生物对硅酸盐矿物的风化作用, 有酸解、络解、酶解、碱解, 以及夹膜吸收、胞外多糖形成和氧化还原作用等多种观点, 这些观点都有一定的合理性, 但还不能完全解释矿物的微生物风化过程和分子机理。有学者提出综合作用的观点以及细菌矿物复合体和微环境的概念, 但各种因素究竟是如何共同促进风化作用, 分子机理是什么? 细菌矿物复合体微环境的理化性质如何? 有待进一步研究。

2. 各种风化因素对矿物风化过程的影响分析: 影响矿物风化的因素比较复杂, 主要有温度、压力、

pH 值、阴阳离子和有机酸的种类和浓度、系统开放性、时间等。温度是影响矿物风化的最活跃因素之一, 其作用在物理风化、化学风化、生物风化三个方面都有所体现。压力的影响主要体现在物理风化作用上。pH 值对矿物风化有直接的影响, 绝大多数的硅酸盐矿物的溶解性随 pH 值的降低而升高, 但影响的程度有差异, 这与硅酸盐矿物的成分和结构有关。阴阳离子通过络合作用(或离子交换作用)、影响矿物表面的氧化还原电位和形成次生矿物来促进矿物溶解。低分子量有机酸通过降低体系的 pH 值和络合作用来促进矿物的溶解。开放性的系统有利于矿物的风化。风化时间越长, 风化程度越高, 在长时间的风化过程中, 次生矿物可能会发生二次风化。矿物所处的坡度、纬度、水文条件、植被情况、昼夜温差、矿物颗粒及裸露情况对风化作用均有影响。

3. 风化过程机理分析: 矿物风化作用实质上是矿物从平衡态—非平衡态—平衡态的过程, 是自由能发生变化的过程。原生矿物由于各种外界条件的变化, 破坏了原有的平衡, 从而发生风化作用并达到新的平衡。长石矿物的风化过程经历了离子交换、络合作用、次生矿物形成等过程, 实质上是矿物的溶解和生成次生矿物沉淀的过程。

4. 存在的问题: 1) 微生物产生的各种有机配位体及其与 Si 和 Al 离子的络合常数有待检测和测定; 2) 人工化学风化速率与自然风化速率的观测结果有差异很大; 3) 生物风化作用具有特殊性, 微生物与矿物所形成的复合体微环境需要进一步研究。

5. 展望: 生物风化作用具有特殊性, 对微生物-矿物复合体微环境的理化性质及代谢产物进行深入研究, 将是揭示微生物对矿物风化作用机理的一个突破口, 可以进一步阐明微生物与矿物相互作用的机理与过程, 对将来的实际应用也有指导作用。