

· (微)生物地球化学过程与物质循环 ·

贵阳市浅层岩溶地下水 溶解性稀土元素地球化学特征研究

何守阳^{1,2}, 朱立军³, 沈 峥³

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;

3. 贵州大学 喀斯特环境与地质灾害防治教育部重点实验室, 贵阳 550003

贵阳市作为全球集中连片分布面积最大和发育最强烈的岩溶典型区的中心地带, 具有断层构造发育、岩层褶皱明显和岩溶裂隙及管道分布密集等特点。地下含水系统主要为碳酸盐岩(石灰岩和白云岩)和碎屑岩且十分复杂, 具有独特的水文地球化学特征、突出的地球化学敏感性和地下水环境脆弱性等特点, 在全球岩溶中有一定代表和典型性。

贵阳市 57 个浅层岩溶地下水开展溶解性稀土元素的地球化学特征研究表明, 与碳酸盐岩或碳酸盐岩风化壳相比较, 地下水中稀土元素含量相当低, 且受控于岩性和碳酸盐岩风化壳, 总稀土含量为: 白云岩含水层: 0.01~0.43 $\mu\text{g/L}$, 白云岩与石灰岩含水层 0.03~0.27 $\mu\text{g/L}$, 石灰岩含水层: 0.03~0.15 $\mu\text{g/L}$, 碎屑岩含水系统: 0.05~1.38 $\mu\text{g/L}$ 。碳酸盐岩风化壳中的粘土矿物对稀土元素的吸附而使得通过水岩(土)相互作用或碳酸盐岩风化成土作用进入地下水系统中的稀土元素含量减少。但在局部含有膏岩或含煤系地层的碎屑岩含水系统中, 由于其中膏岩(石膏)的溶解或煤系地层中硫铁矿的风化释放出的硫酸溶解含稀土元素的矿物而形成稀土元素含量的异常特征: $\text{FeS}_{2(s)} + 15/4 \text{O}_{2(g)} + 7/2 \text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3(s) + 2\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$; 或 $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}_{(s)} = \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$ 。

稀土元素的球粒陨石标准化分布模式表现出非平坦模式且轻稀土元素(LREE)较重稀土元素HREE富集、Ce负异常和Tb正异常特征。地下水中LREE较HREE富集继承了碳酸盐岩和碳酸盐

岩风化壳的稀土元素分布特征。岩溶地下水系统长期处于开放状态以及高PH值(偏碱性)的水化学环境下可能使地下水中 Ce^{3+} 氧化成 Ce^{4+} 是造成Ce负异常特征的主要原因: $\text{Ce}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CeO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{e}^-$ 。

研究中发现地下水中具Tb正异常特征, 可能与人类活动相关。Tb在工业、农业和高新技术产业中的广泛应用可能是Tb正异常的原因, 两者相关性需进一步研究证实。

岩溶地下水中稀土元素的形态主要以REE(CO_3)_nⁿ⁻² (n=1和2)络合物形式存在; 这是因为碳酸盐岩矿物的风化和溶解使岩溶地下水的阴离子以 HCO_3^- 为主呈现出偏碱性的水环境, 在以 HCO_3^- 为主的偏碱性水环境中稀土元素主要以REE(CO_3)_nⁿ⁻² (n=1和2)络合物的形式存在。但对于含膏岩或含煤系地层的碎屑岩含水系统而言, 含水层中膏岩(石膏)的溶解或煤系地层中硫铁矿的风化使地下水呈现出以 HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 为主要阴离子的水环境导致稀土元素的主要存在形态以REESO₄⁺和REECO₃⁺形式存在。

研究表明地下水中稀土元素的含量、分布特征以及存在形态与围岩和地下水流经的含水层岩性有密切的关系且受到地下水岩相互作用和碳酸盐岩风化成土作用的影响。岩溶地下水独特的稀土元素地球化学特征可作为岩溶地下水环境演化很好的研究手段。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2006CB403200); 国家自然科学基金资助项目(40463001)