

有机质中稀土元素的地球化学特征对恢复古海洋环境的指示意义

邓义楠¹⁾, 郭庆军²⁾, 朱茂炎³⁾, 刘坚¹⁾, 陈道华¹⁾

1) 国土资源部海底矿产资源重点实验室, 广州海洋地质调查局, 广州, 510075;

2) 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京, 100101; 3) 中国科学院南京地质古生物研究所, 南京, 210008

稀土元素的地球化学特征分析在古海洋环境的研究工作中已得到了较为广泛的运用。REE 的配分模式以及 Ce 和 Eu 等变价元素的异常情况均有着重要的指示作用。然而, 因为前人工作主要以受到陆源碎屑物质(可能的热液活动)干扰的全岩为分析对象, 无法有效的反映出古海洋原生组分的特点。以地球环境发生重要变革的寒武纪早期为例, 我们选取岩石中的有机质作为主要分析对象, 其主要来源于海洋上层水体的藻类和浮游动物等。这些生物长期生活在海水当中, 通过新陈代谢和呼吸作用等与周围环境发生充分的物质交换而达到平衡状态, 其体内的 REE 组分可能代表了海洋上层水体的组合特征(王中刚等, 1989)。并且, 沉积岩中的有机质性质十分稳定, 受外界干扰小, 为我们研究寒武纪初期的海洋环境提供了有利的条件。

1 有机质中 REE 的地球化学特征

1.1 样品与分析方法

本文研究的袁家剖面位于湖南省西南部中方县, 剖面出露较好, 寒武纪早期主要沉积了牛蹄塘组的黑色岩系, 分为上下两段, 岩性主要为灰—黑色页岩、磷质页岩和硅质页岩。

选取剖面中有机质丰富的样品 19 块, 主要参考傅家谟和秦匡宗(1995)的方法提取样品中的有机质, 并以高剑锋等(2003)的方法为参照, 对有机质样品进行消解, 样品的 REE 测试在中国科学院地理科学与资源研究所电感耦合等离子质谱(ICP-MS)上完成。

1.2 REE 配分模式

样品中 REE 的 PAAS 配分曲线(图 1a)均为轻微向左倾斜, 重稀土富集, Ce 的负异常, Y 的正异常和轻微的 Gd 富集等均符合海水的 REE 特征(图 1b)。有机质中呈现出现代海水的 REE 配分曲线, 说明岩石中的有机质来源于长期在海水中生存的生物体, 且其 REE 未受到碎屑物质、沉积后期和成岩作用影响, 代表了古海洋原始的 REE 组合特征。然而, 同时期相关剖面的全岩中(Guo et al., 2007) REE 配分曲线相对较为平坦(图 1b), 可能受到了陆源碎屑物质的干扰。

1.3 Ce 异常以及对古环境的指示作用

样品中源于海洋上层水体的有机质中 Ce 基本为负异常, 变化范围在 0.32 和 0.88 之间。剖面由底部向上 Ce/Ce* 的值整体上逐渐增大, 具体表现为剖面下段呈现出上升□下降趋势和剖面上段的逐步上升(图 1d)。现代黑海上层水体(氧化层和贫氧层的上部)中 Ce 的含量与溶解的氧气浓度呈正相关关系而与 Mn 的微粒含量为负相关关系(图 1c; Slack et al., 2007;)。引起 Ce/Ce* 值变化的原因可能是因为海水溶解氧的浓度改变, 或者是源于海平面升降引起的海水深度的变化。藻类和浮游动物等生物的主要来源多数生活在海洋上层水体的透光层中, 故海水升降对其 Ce/Ce* 值得影响可能不大。我们推测海水中溶解氧含量的变化是导致有机质样品中 Ce 含量改变的主要决定因素。Ce/Ce* 值的逐渐升高可能意味着寒武纪早期表层海水中含氧量的逐渐增大, 而氧气含量的提高可能对后期的寒武纪生物大爆发产生积极影响。

注: 本文为科技部 973 项目(2013CB835004)和国家基金委项目(NSFC: 40972023, 40930211)联合资助成果。

收稿日期: 2015-02-20; 改回日期: 2015-03-01; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 邓义楠, 男, 1987 年生。硕士, 助理工程师, 沉积学和地球化学专业。Email: dengyinan@126.com

海洋上层水体的 Ce/Ce* 值变化特征与底层水迥异。然而, 与有机质样品中 Ce/Ce* 值相似, 该时期剖面全岩样品 (Guo et al., 2007) 随着剖面厚度的升高 Ce/Ce* 值逐渐增大, 似乎意味着当时逐渐还原的沉积环境。Guo 等 (2007) 将此矛盾解释为沉积物可能来源于生存在氧化还原界面之上的海洋生物。全岩样品中 Ce 的负异常可能由有机质所提供, 水体的逐渐氧化引起有机质中 Ce 的负异常减弱从而导致全岩样品中 Ce/Ce* 值的升高。全岩 REE 分析中的 Ce 异常或许是由有机质的较大的负异常和碎屑物质中无明显异常的 Ce 混合所致。

同时, 样品中有机碳同位素与 Ce/Ce* 值在剖面

上的变化特征颇为相似, 大体表现为剖面下段逐渐上升再急剧下降, 剖面上段稳步上升 (图 1d)。有机碳同位素的正漂移可能表明此时海水的含氧量不断升高, 生物生产率和有机埋葬率也随之上升。有机碳同位素值的这一特征也进一步验证了有机质的稀土元素特征代表了古海洋的地球化学信息。

有机质中的稀土元素特征与全岩有着较大的区别, 与较为平坦的全岩 REE 配分曲线相比, 有机质的 REE 特征与现代海水更为相似, 且其不受碎屑物质干扰的 Ce/Ce* 值与有机碳同位素变化趋势对应, 能有效的反应古海洋的环境变化特征。

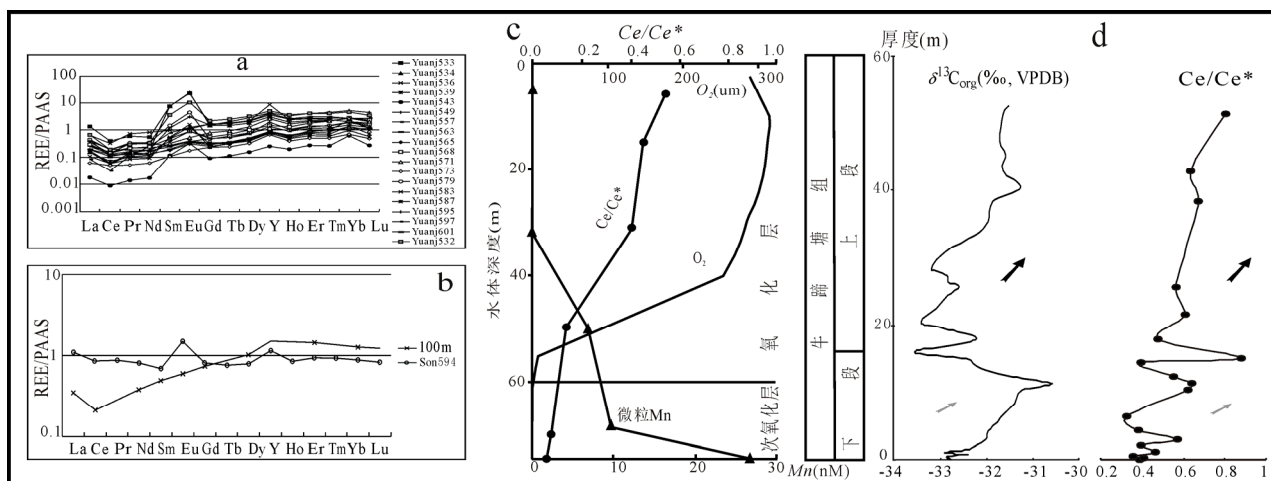


图 1 样品中稀土元素的地球化学特征

Son594 数据源于 Guo et al., (2007), $\delta^{13}C_{org}$ 数据来自 Guo et al., (2013).

参 考 文 献 / References

傅家谟, 秦匡宗. 1995. 干酪根地球化学. 广东科技出版社, 27~78.

高剑峰, 陆建军, 赖鸣远, 林雨萍, 濮巍. 2003. 岩石样品中微量元素的高分辨率等离子质谱分析. 南京大学学报(自然科学), 39 (6): 844~850.

王中刚, 于学元, 赵振华. 1989. 稀土元素地球化学. 科学出版社, 1~19.

Guo Q J, Shields G A, Liu C Q, Strauss H, Zhu M Y, Pi D H, Goldberg T, Yang X L. 2007. Trace element chemostratigraphy of two Ediacaran-Cambrian successions in South China: implications for organosedimentary metal enrichment and silicification in the early Cambrian. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 254,

194~216.

Guo Q J, Strauss H, Zhu M Y, Zhang J M, Yang X L, Lu M, Zhao F C. 2013. High resolution organic carbon isotope stratigraphy from a slope to basinal setting on the Yangtze Platform, South China: Implications for the Ediacaran-Cambrian transition. *Precambrian Research*, in press.

Slack J F, Grenne T, Bekker A, Rouxel O J, Lindberg P A. 2007. Suboxic deep seawater in the late Paleoproterozoic: Evidence from hematitic chert and iron formation related to seafloor-hydrothermal sulfide deposits, central Arizona, USA. *Earth and Planetary Science Letters*, 255, 243~256.