

深海沉积物中的 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 值及其对 稀土资源的指示

邱忠荣, 马维林

自然资源部第二海洋研究所, 自然资源部海底科学重点实验室, 杭州, 310012

关键词: 稀土元素; $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 值; 富稀土沉积物; 资源预测

稀土元素是一种重要的不可再生资源, 目前全球对稀土的需求依然在迅速增加。日本学者 Kato 等 (2011) 通过对太平洋沉积物大规模的采样发现, 太平洋洋底含有大量的富稀土沉积物分布, 并可能成为多金属结核、富钴结壳及多金属硫化物以外的又一大潜在的矿产资源。当前普遍认为深海沉积物中稀土元素的主要载体为生物磷酸盐 (Yasukawa et al., 2014; Zhang et al., 2017), 沉积物中的钙质和磷质组分均与稀土元素关系密切 (邱忠荣等, 2019)。本文对洋底沉积物中 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 与 REY 关系进行系统性分析, 为深海沉积物中 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 可能作为指示 REY 含量的潜在指标提供一定的科学依据。

1 样品采集

本次研究数据源于中国大洋 40 航次在西北太平洋获得的 27 个站位沉积物柱状样, 共分析得到 218 组主微量及稀土数据, 及大洋第 45 航次在东太平洋获得的 11 个站位柱状样, 共分析得到 287 组主微量及稀土数据, 其他数据则来源于已发表的文献。

2 结果与讨论

2.1 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 与 REY 的相关性

大洋的碳酸盐补偿深度 (CCD) 平均值为 4500 m, 在假定 4500 m 为大洋 CCD 的前提下, 笔者对沉积物的空间分布进行了划分, 分别为水深高于 CCD 且远离洋脊沉积物、水深低于 CCD 且远离洋脊沉积物和靠近洋脊区沉积物三种环境沉积物。并

对其 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 与稀土元素 (ΣREY) 关系进行了系统性研究。发现这三种环境下的沉积物中 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 均与 ΣREY 呈现明显的负相关性。导致这种负相关的原因主要为沉积物中碳酸盐的稀释作用, 生物活动和由热液活动产生的铁锰氧化物对海水中 REY 的清扫作用。

其中水深低于 CCD 且远离洋脊沉积物中 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 与 ΣREY 呈良好的线性负相关, 可能指示这种环境沉积物稀土含量极易受钙质组分 (主要为钙质生物) 稀释的影响。靠近洋脊区沉积物的 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 与 ΣREY 虽然也呈线性负相关, 但其相关性明显较水深低于 CCD 且远离洋脊沉积物低, 可能指示钙质组分对于这种环境沉积物稀土元素的稀释效应并不明显。水深高于 CCD 且远离洋脊沉积物中 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 与 ΣREY 虽然也呈现负相关, 但却并非线性的。具体表现为, 当其 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 值很大时 (>10), $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 与 ΣREY 相关性曲线斜率很大, 随着 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 的变小时, 相关性曲线斜率逐渐减小。

2.2 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 作为沉积物稀土含量的潜在指示

基于这三种环境下沉积物的 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 与 ΣREY 特殊相关性, 我们对其进行 ΣREY — $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 和 ΣREY — CaO 投图分析 (图 1)。由图 1 可知, 总体而言, 水深高于 CCD 且远离洋脊沉积物中的 ΣREY 要高于水深低于 CCD 且远离洋脊沉积物, 水深低于 CCD 且远离洋脊沉积物的 ΣREY 又要高于靠近洋脊区沉积物。

由于各个环境沉积物中 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 及 CaO 的百分含量均有所不同, 图 1 可以很好的区别各自 ΣREY 的富集情况。既对于水深低于 CCD 且远离洋脊沉

注: 本文为国际海域资源调查与开发“十三五”课题资助项目 (编号: DY135-C1-1-05) 的成果。

收稿日期: 2020-01-10; 改回日期: 2020-02-10; 责任编辑: 周健。DOI: 10.16509/j.georeview.2020.sl.029

作者简介: 邱忠荣, 男, 1994 年生, 硕士, 地球化学专业, Email: qiuzhongrong@sio.org.cn。

积物和靠近洋脊区沉积物而言, $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 值很大 (>10), 也很难形成富稀土沉积物 (富稀土定义的阈值为 $400 \mu\text{g/g}$)。而对于水深高于 CCD 且远离洋脊沉积物而言, $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 值大于 10 时, 也难形成富稀土沉积物, 但当其 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 变化在 1.3~5.0 且 CaO 含量为 1%~10% 时, 具有很大的可能富集稀土元素。

3 结论

基于对大洋沉积物 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 与 ΣREY 的相关性研究, 可利用 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ 作为指标指示不同海底环境沉积物中 REY 的含量, 对海底沉积物的稀土资源预测及其储量估算具有一定的指示意义。

参 考 文 献 / References

邱忠荣, 马维林, 张霄宇, 任江波. 2019. 南鸟岛东南部海域沉积物地球化学特征及其稀土资源指示意义. 地质科技情报, 38(4): 205~214.

Kato Y, Fujinaga K, Nakamura K, Takaya Y, Kitamura K, Ohta J, Toda R, Nakashima T, Iwamori H. 2011. Deep-sea mud in the Pacific Ocean as a potential resource for rare-earth elements. *Nature Geoscience*, 4(8): 535~539.

Yasukawa K, Liu H, Fujinaga K, Machida S, Haraguchi S, Ishii T, Nakamura K, Kato Y. 2014. Geochemistry and mineralogy of REY-rich mud in the eastern Indian Ocean. *Journal of Asian Earth Sciences*, 93: 25~36.

Zhang X, Tao C, Shi X, Huaiming LI, Huang MU, Huang D. 2017. Geochemical characteristics of REY-rich pelagic sediments from the GC02 in central Indian Ocean Basin. *Journal of Rare Earth*, 35(10): 1047~1058.

QIU Zhongrong, MA Weilin: $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ ratio in deep sea sediments and its indication for REY resources

Keywords: rare earth elements; $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$ ratios; REY-rich sediments; resource potential

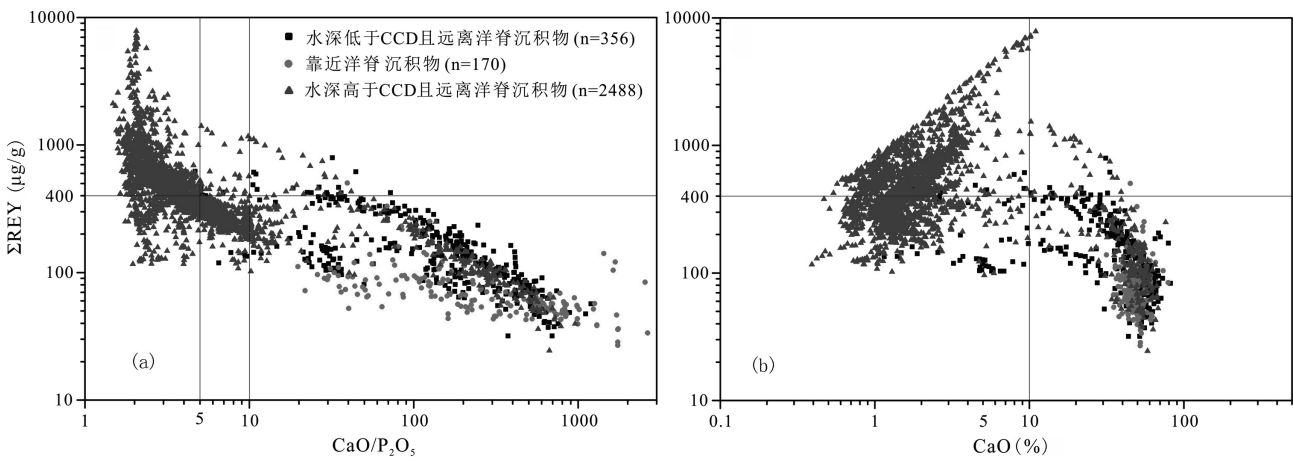


图 1 三种不同环境沉积物中 $\text{CaO}/\text{P}_2\text{O}_5$, CaO 与 ΣREY 相关性图解