

# 深海软泥与中国南方离子吸附型稀土矿

姚会强, 何高文, 任江波, 王海峰, 杨永

广州海洋地质调查局, 广州, 510075

Kato et al. (2011) 年对太平洋海盆深海软泥进行了广泛的调查研究, 认为在深海太平洋存在大量的富稀土深海软泥, 所蕴含的稀土资源数量为目前陆地已发现稀土资源量的 1000 倍, 引起了世界科学界和矿业界的极大关注。该文指出富 REY (REE+Y) 深海软泥可以作为一种新的稀土资源载体, 尤其是重稀土资源, 并特别指出相比于中国南方离子吸附型稀土矿 (Bao and Zhao 2008), 具有较高的 HREE/LREE 比值, 蕴含有明显的重稀土资源潜力, 为了进一步理解深海软泥和中国南方离子吸附型稀土矿之间的异同, 本文尝试从含量和成因上对两者进行对比分析。

从含量分析: 中国南方离子吸附型稀土矿典型剖面可以分为三层, 从上向下分别为, 表土层 (红土层) → 全风化层 (风化层) → 半风化层 (风化前缘层),  $\Sigma$ REY 存在先增大而后减小的趋势, 主要富集在全风化层, 而在表土层和半风化层则相对亏损。针对不同离子吸附型稀土矿剖面,

$\Sigma$ REY 含量不同, 如表 1 所示。从表 1 可以看出, 中国南方离子吸附型稀土矿剖面  $\Sigma$ REY 在 559~2200ppm 之间, 其中 HREE 在 122~175ppm 之间, HREE/LREE 值, 除新秀剖面为 4.93 外, 其他另外三个剖面在 0.09~0.34 之间, 均值为 0.24。依据各个站位海底之下 2 米以浅层位的  $\Sigma$ REY 数据均值是否大于 400ppm 以及组分特征, Kato et al. (2011) 将稀土站位划分为三种类型: (1) 富 REY 站位 (以 Site 76 和 Site 597 为代表), (2) 岩石成因站位 (以 Site 38 和 Site KH76-2-3 为代表), (3) 生物成因站位 (以 Site 573 和 Site 316 为代表), 其  $\Sigma$ REY 统计结果如表 1 所示。从表 1 可以看出, 岩石成因和生物成因站位,  $\Sigma$ REY 含量均较低, 均值分别为 221ppm 和 60ppm, HREE 含量均值分别为 46ppm 和 29ppm, HREE/LREE 值分别为 0.26 和 0.94; 而富 REY 站位,  $\Sigma$ REY 含量较高, 在 316~2228ppm, 均值为 1341ppm, HREE 为 720ppm, HREE/LREE 值为 1.11。

表 1 中国南方离子吸附型稀土矿与深海软泥稀土元素含量统计表 (单位为 ppm)

| 剖面 and 站位类型 | $\Sigma$ REY 最小值 | $\Sigma$ REY 最大值 | $\Sigma$ REY 平均值 | HREE 平均值 | (HREE / LREE) 平均值 |
|-------------|------------------|------------------|------------------|----------|-------------------|
| 新秀剖面        | 143              | 1228             | 612              | 509      | 4.93              |
| 姑婆山剖面       | 699              | 1324             | 1048             | 268      | 0.34              |
| 华山剖面        | 429              | 679              | 559              | 122      | 0.28              |
| 鹤龄剖面        | 1039             | 3797             | 2200             | 175      | 0.09              |
| 富 REY 站位    | 316              | 2228             | 1341             | 720      | 1.11              |
| 岩石成因站位      | 217              | 229              | 221              | 46       | 0.26              |
| 生物成因站位      | 28               | 117              | 60               | 29       | 0.94              |

注: 统计数据来源于 Bao and Zhao 2008; HREE 指 Gd-Lu+Y, LREE 指 La-Eu

从成因分析: 中国南方离子吸附型稀土矿各自具有不同的稀土配分模式 (如图 1a 所示), 其成因主要受控于母岩, 进一步来说, 其成因受控于母岩中含稀土副矿物的抗风化能力, 抗风化能力较差的副矿物优先被风化, 稀土元素随之发生运移、吸附及再沉积, 在此过程中部分稀土元素

发生一定程度的分异, 最为明显的为 Ce (如图 1b 所示)。将不同类型的深海软泥与海水、亚洲黄土及沉积物碎屑组分的稀土配分模式进行对比 (图 1c-图 1f), 可以看出: 深海软泥中富 REY 站位的稀土元素配分模式与生物成因站位和海水稀土配分模式相似, 而与岩石成因站位的稀土配

注: 本文为 DY125-13-R-08 和 DY125-13-R-01 项目成果。

收稿日期: 2013-03-13; 改回日期: 2013-03-31; 责任编辑: 费红彩。

作者简介: 姚会强, 男, 1982 年出生, 博士, 高级工程师。主要从事深海矿产资源评价及海洋地球化学研究。Email: hqyao@163.com。

分模式不同; 岩石成因站位的稀土配分模式与亚洲黄土和沉积物碎屑相稀土配分模式相似。研究初步认为岩石成因站位稀土配分模式主要受到陆源风尘黄土的控制, 而富 REY 站位和生物成因站

位则有可能主要受控于风尘黄土或者铁锰氧化物颗粒对海水中稀土元素的吸附作用; 富 REY 站位与生物成因站位在含量上的差异, 我们初步认为主要是由生物组分的稀释作用引起的。

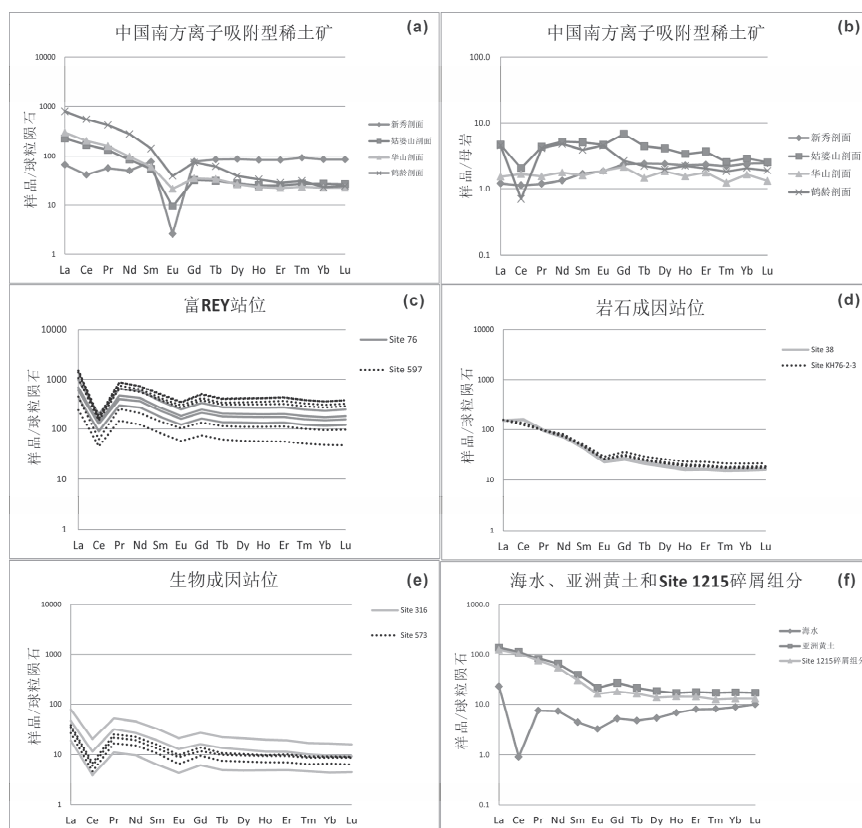


图 1 中国南方典型离子吸附型稀土矿、深海软泥、海水、亚洲黄土和 Site 1215 碎屑组分稀土配分模式图 (亚洲黄土数据引自 Ding et al. 2001; Site 1215 碎屑组分指全岩沉积物去除碳酸盐、氧化物和蛋白石后的残余物, 引自 Ziegler et al. 2007; 海水数据引自 Alibo and Nozaki 1999)

深海软泥富 REY 站位在总稀土含量上与中国南方离子吸附型稀土矿相比, 具备良好的稀土资源潜力, 尤其是重、轻稀土比要明显大于中国南方离子吸附型稀土, 说明具有更加明显的重稀

土资源潜力; 在成因上, 深海软泥富 REY 站位与中国南方离子吸附型稀土矿不同, 其可能主要受控于风尘黄土或者铁锰氧化物对海水中稀土元素的吸附作用。

## 参考文献 / References

- Bao Z, Zhao Z. 2008. Geochemistry of mineralization with exchangeable REY in the weathering crusts of granitic rocks in South China. *Ore Geology Reviews*, 33: 519~535.
- Ding Z L, Sun J M, Yang S L. and Liu T S. 2001. Geochemistry of the pliocene red clay formation in the Chinese loess plateau and implications for its origin, source provenance and paleoclimate change. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65 (6): 901~913.
- Kato Y, Fujinaga K, Nakamura K, Takaya Y, Kikamura K, Ohta J, Toda

- R, Nakashima T, and Iwamori H. 2011. Deep-sea mud in the pacific ocean as a potential resource for rare-earth elements. *Nature geoscience*, 4: 535~539.
- Ziegler C L, Murray R W, Hovan S A, and Rea D K. 2007. Resolving eolian, volcanogenic, and authigenic components in pelagic sediment from the Pacific Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, 254: 416~432.