

# 陡山沱组磷矿记录的不同来源稀土

张放<sup>1,3</sup>, 樊海峰<sup>1,3\*</sup>, 刘喜强<sup>1,3</sup>, 张洪杰<sup>1,3</sup>, 温汉捷<sup>2,3</sup>, 唐勇<sup>3,4</sup>, 商朋强<sup>5</sup>

(1. 中国科学院 地球化学研究所 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550081;

2. 长安大学, 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054; 3. 中国科学院大学 地球与行星科学学院, 北京 100049;

4. 中国科学院 地球化学研究所 地球内部物质高温高压院重点实验室, 贵州 贵阳 550081; 5. 中国化工地质矿产局, 北京 100101)

在埃迪卡拉纪陡山沱时期, 全球范围内沉积了大量的海相磷块岩, 这可能代表了稀土元素和钇 (REY) 在海洋中的全球汇。华南陡山沱组的 REY 来源已初步确定为海水和陆源物质的混合来源 (Yang et al., 2021)。然而, 海水和陆源端元的 REY 组成仍不清楚; 因此, 很难确定海水和陆源 REY 的贡献。研究区位于鄂西荆襄磷矿区, 该磷矿区有四个磷矿层, 其中第一层 (Ph1) 和第三层 (Ph3) 为经济磷矿层 (熊先孝等, 2010)。荆襄磷矿区放马山矿段目前已探明资源储量~9200 万吨, 矿石品位  $P_2O_5$  ~21wt% (刘秋颖, 2012)。该矿段发育两层磷矿 (Ph1 和 Ph3), Ph1 以硅泥质条带状磷块岩为主, Ph3 主要为白云质条带状磷块岩和块状磷块岩。本文对华南鄂西荆襄磷矿区放马山钻孔中的磷块岩、碳酸盐矿物和磷灰石的原位 REY 及其他微量元素进行了分析, 区分了两种稀土来源截然不同的磷块岩。

## 1 海水端元稀土组成

通过白云石和方解石的稀土组成 (图 1), 我们发现陡山沱时期的海水稀土组成与现代海水稀土组成相似 (如重稀土元素富集, Y/Ho 值>44, 负 Ce 异常, Alibo and Nozaki, 1999)。在上层磷矿中 (Ph3) 也发现了稀土组成与现代海水相似的原位磷灰石 (图 2A, UAp-I), 较高的 Y/Ho 值 (44-61) 和海水自生成因结构 (胶状结构) 也进行了验证, 这种磷灰石可能记录了原始上覆水体的稀土组成。

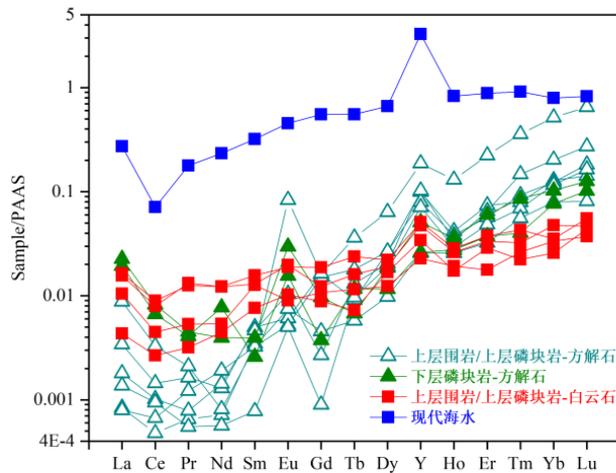


图 1 上层磷块岩、下层磷块岩和上层围岩中碳酸盐和现代海水 (Alibo and Nozaki, 1999) 的稀土配分模式

## 2 陆源端元稀土组成

与上层磷矿不同 (Ph3), 下层磷矿 (Ph1) 中原位磷灰石的稀土模式为右倾稀土模式 (图 2B)。这种右倾模式与成岩作用造成的轻稀土富集无关, 而是与大多数火成岩或火成磷灰石的轻稀土富集相似 (如 Quet al., 2019)。此外, 下层磷块岩中的磷灰石 ( $30.02 \pm 2.62$ ) 具有接近于大陆地壳 (27, Nozaki et al., 1997) 的 Y/Ho 值, 代表了陆源端元的稀土输入。

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (92062221, U1812402, 41890840, 92162214), 中国科学院创新交叉团队 2019 (JCTD-2019-17), 贵州省 2020 年度科技补贴 (GZ2020SIG), 云南省重点研发项目 (202103AQ100003)

**第一作者简介:** 张放, 男, 1995 年生, 博士研究生, 主要从事矿床地球化学领域研究。

### 3 意义

这项研究表明, 早至新元古代古海水的 REY 组成可能就与现代海水相似, 并对于理解地质历史时期中磷矿 REY 组成的差异具有重要贡献。此外, 稀土来源不同的两种磷灰石(图 2, UAp-I 和 LAp-I)均具有较低的总稀土含量(均值分别为 132.30 ppm 和 204.08 ppm), 相反, 上层磷矿中具有较低 Y/Ho 值 (<44) 和下层磷矿中稀土模式较平坦的磷灰石(图 2, UAp-II 和 LAp-II)具有较高的总稀土含量(均值分别为 691.16 ppm 和 403.81 ppm)。这个现象表明单一的稀土来源可能不会使稀土发生富集, 同时, 提供陆源稀土的风化源岩的稀土含量对磷块岩中稀土的富集可能也是重要的。从微观尺度上看, 直径为数百微米的磷灰石颗粒可能由大量不同类型的纳米级磷灰石(例如, 细晶磷灰石、胶状磷灰石和陆源磷灰石)组成。因此, LA-ICP-MS 的微米尺度的束斑仍可能同时剥蚀不同类型的磷灰石而显示混合的微量数据, 在进行原位微量测试前需要进行更加精细的纳米尺度调查。

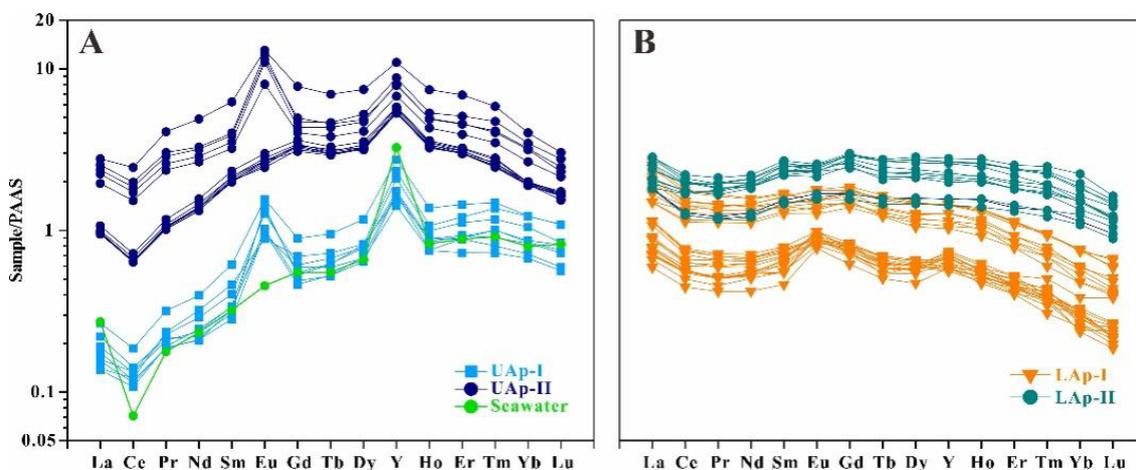


图 2 上层磷矿中原位磷灰石的稀土配分模式 (A); 下层磷矿中原位磷灰石的稀土配分模式 (B)

### 参考文献

- Alibo, D.S., Nozaki, Y., 1999. Rare earth elements in seawater: particle association, shale-normalization, and Ce oxidation. *Geochim. Cosmochim. Acta.* 63(3):363-372.
- Nozaki, Y., Zhang, J., Amakawa, H., 1997. The fractionation between Y and Ho in the marine environment. *Earth Planet. Sci. Lett.* 148(1):329-340.
- Qu, P., Li, N.B., Niu, H.C., Yang, W.B., Shan, Q., Zhang, Z.Y., 2019. Zircon and apatite as tools to monitor the evolution of fractionated I-type granites from the central Great Xing' an Range, NE China. *Lithos.* 348-349:105207.
- Yang, H.Y., Xiao, J.F., Xia, Y., et al., 2021. Phosphorite generative processes around the Precambrian-Cambrian boundary in South China: An integrated study of Mo and phosphate O isotopic compositions. *Geosci. Front.* 12(5):101187.
- 刘秋颖. 湖北省放马山磷矿物质组分及元素地球化学特征[J]. 化工矿产地质, 2012, 34(4):9.
- 熊先孝, 薛天星, 柴家洪, 等. 鄂西磷矿集区地质及其资源远景分析[J]. 化工矿产地质, 2010, 32(1):11.