

江南造山带东段中生代花岗岩的磷灰石地球化学特征及其对岩石成因的指示

李超^{1,2)}, 闫峻²⁾

1) 昆明理工大学城市学院, 昆明, 650093;

2) 合肥工业大学资源与环境工程学院, 合肥, 230009

关键词: 江南造山带东段; 磷灰石; 花岗岩

磷灰石 ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})$) 是花岗岩中最常见副矿物之一。大量研究表明磷灰石的微区地球化学可以为花岗岩岩浆源区性质、成岩过程以及岩浆内在属性提供有效的制约 (李华伟和杨志明, 2023)。江南造山带由扬子板块和华夏陆块拼贴缝合而成 (韩瑶等, 2016), 其中晚中生代花岗岩广泛出露于江南造山带东段, 包括早期形成的 I 型花岗岩 (150~136 Ma) 和晚期形成的 A 型花岗岩 (135~120 Ma)。尽管之前的学者对于江南造山带东段中生代花岗岩已经开展过广泛的年代学和地球化学研究, 但是两种类型花岗岩的成因依然存在很大的争议, 特别是对于本地区 A 型花岗岩究竟是形成于富水玄武质岩浆结晶分异还是形成于熔体抽取后的残留麻粒岩部分熔融尚未达成共识。基于此, 本研究高密度的采集了江南造山带东段的中生代花岗岩, 计划通过花岗岩中磷灰石的地球化学研究, 来约束 I 型花岗岩和 A 型花岗岩的岩石成因和岩浆内在属性。

1 磷灰石地球化学特征

江南造山带东段 I 型花岗岩和 A 型花岗岩中的磷灰石均为氟磷灰石, 其中 F 含量普遍大于 2%、F/Cl 大于 15, 为典型的岩浆磷灰石。基于岩性的差异, 本研究将磷灰石分为了两组, 分别为 I 组 (I 型花岗岩) 和 A 组 (A 型花岗岩)。从主量元素来看, A 组磷灰石具有变化的 F (2.2%~4.1%) 和 Cl (0~0.2%) 含量, 而 A 组磷灰石具有高的 F 含量

(>3.3%) 和低的 Cl 含量 (<0.1%)。此外, 相比较 A 组磷灰石, I 组磷灰石具有较高的 SO_3 含量和较低的 MnO 含量。从球粒陨石标准化图解来看, I 组磷灰石具有轻稀土富集、重稀土亏损的右倾型配分模式 ($(\text{La}/\text{Yb})_N = 5\sim 30$) (图 1a), 而 A 组磷灰石的稀土含量明显高于 I 组磷灰石, 呈平坦的稀土配分模式 ($(\text{La}/\text{Yb})_N = 0.53\sim 5.28$), 并显示明显负 Eu 异常 (图 1b)。

2 磷灰石矿物化学对岩石成因的指示

磷灰石中稀土元素的配分主要受三个关键因素的影响: ① 元素在磷灰石和硅酸盐熔体之间的分配行为; ② 熔体和源区的地球化学组成; ③ 磷灰石结晶之前或结晶同时, 其他矿物发生分离结晶。I 组磷灰石具有轻稀土富集和重稀土亏损的右倾型稀土元素配分特征, 这种特征与寄主岩石的稀土元素配分基本一致 (图 1a), 表明磷灰石的稀土元素配分继承自母岩浆。然而, A 组磷灰石稀土元素配分与寄主花岗岩并不完全一致, 它具有平坦的稀土元素配分, 并具有显著的负 Eu 异常 (图 1b)。此外, 其 Sr 含量和 Eu/Eu^* 以及 Eu/Eu^* 和全岩 Eu/Eu^* 均具有相关性, 暗示斜长石的结晶分异对于 A 组磷灰石地球化学成分的控制。此外, 磷灰石和锆石均被认为是早期成岩矿物, 因此 A 组磷灰石重稀土的亏缺可以归因于富重稀土锆石的早期结晶。另外, A 组磷灰石还具有明显轻稀土的亏损 (图 1b), 这可能是由于独居石、褐帘石等富轻稀土矿物分馏造成的。总的来说, I 组磷灰石地球化学特征主要受

注: 本文为国家自然科学基金资助项目 (编号: 42030801) 和中央高校基本科研业务费专项 (编号: Z2022HGQB0215) 的成果。

收稿日期: 2023-12-10; 改回日期: 2023-12-25; 责任编辑: 潘静。DOI: 10.16509/j.georeview.2024.s1.088

作者简介: 李超, 男, 1992 年生, 博士, 助理研究员, 主要从事中生代岩浆岩成因研究; Email: hanliulc@163.com。通讯作者: 闫峻, 男, 1966 年生, 博士, 教授, 主要从事中生代岩浆岩与成矿作用研究; Email: junyan@hfut.edu.cn。

控于部分熔融作用,而 A 组磷灰石的主要受斜长石、独居石、褐帘石和锆石等矿物分离结晶的影响。

3 磷灰石矿物化学对岩浆内在属性的指示

磷灰石具有很强的抗风化性,并且包含大量的变价元素,被认为是岩浆氧化还原程度的良好指示物。目前,磷灰石的 Mn、Eu、Ce 和 S 元素常常被用来指示岩浆氧化还原程度,但其准确性一直饱受争议。最新研究显示,磷灰石 S 氧逸度计是其中最为可靠氧逸度计。在高氧逸度下, S 与 Na^+ 或 Si^{4+} 以六价态结合,取代磷灰石中的 P^{5+} 或 Ca^{2+} ,使得 SO_3 含量升高;而在低氧逸度条件下, S^{6+} 转化为 S^{2+} , S^{2+} 不易进入磷灰石,导致 SO_3 含量降低。本次测试

数据显示, I 组磷灰石的 SO_3 含量为 0.01%~0.48%, 显著高于 A 组磷灰石的 SO_3 含量(0~0.02%), 表明早期 I 型花岗岩浆比晚期 A 型花岗岩浆更具氧化性。

另外,磷灰石富含挥发性元素,因此常被用于估算岩浆挥发性成分(如 F、Cl、S、 H_2O)。基于磷灰石与熔体的挥发分元素分配系数,本研究对岩浆挥发分含量进行了定量分析。研究表明,早期 I 型花岗岩的 F、Cl、S、OH 含量均高于晚期 A 型花岗岩。综合区域成矿作用特点, I 型花岗岩的高氧逸度和高的 F、Cl、S 和 H_2O 特点也的确更有利于 W-Cu-Mo 等金属元素的运输和沉淀。然而, A 型花岗岩由于具有高 F、低 H_2O -Cl、低氧逸度的特征,并经历过显著的结晶分异作用,更有利于稀有金属元素的富集。

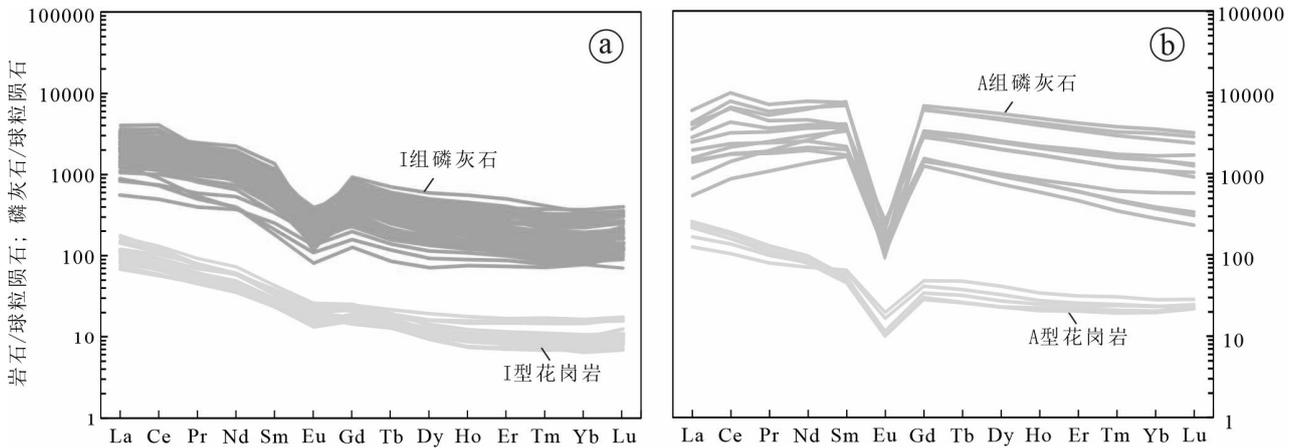


图 1 江南造山带东段 I 型花岗岩(a)与 A 型花岗岩(b)及其磷灰石球粒陨石标准化图解

参 考 文 献 / References

- 韩瑶, 张传恒, 张恒, 游国庆, 李利阳. 2016. 江南造山带东段新元古代孤盆构造格局. 地质论评, 62(2): 285~299.
- 李华伟, 杨志明. 2023. 岩浆锆石和磷灰石矿物化学及在斑岩矿床领域的应用. 地质学报, 97(4): 974~1001.

LI Chao, YAN Jun: Apatite composition for Mesozoic granitoids in the eastern Jiangnan Orogen: An insight into petrogenesis

Keywords: apatite; granitoids; Jiangnan Orogen