

中哈萨克斯坦花岗岩类中磷灰石主微量元素特征 及其对成岩和成矿作用的指示*

曹明坚^{1,2}, 李光明¹, 秦克章¹, E Y Seitmuratova³, 刘勇胜⁴

(1 中国科学院矿产资源研究重点实验室, 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3 哈萨克斯坦 K. Satpaev 地质科学研究院, 阿拉木图 050010;

4 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 武汉 430074)

磷灰石[Ca₅(PO₄)₃(OH, F, Cl)]是各类侵入岩中常见的副矿物。由于许多元素可以通过替换进入磷灰石的晶格, 因此磷灰石含有大量有意义的元素, 如卤族元素(F, Cl)、S、Sr、U、Th、稀土元素(REE)以及其他元素, 这使得磷灰石可以用作放射性定年, 裂变径迹定年, 计算岩浆中 Cl、F 的含量以及逸度, 指示岩浆演化和示踪成岩过程, 指导地球化学勘探等, 然而利用磷灰石来探讨成矿作用以及矿床类型的工作尚不多见。

中哈萨克斯坦(66~78°N, 46~54°E)是一个独特的金属成矿省, 它以盛产与花岗岩有关的矿床而闻名。在本次研究中, 对来自 6 个矿床的 12 个岩体(分别是: Aktogai Cu-Mo 矿区岩基 A1-1、成矿的斑岩 A2-2, A2-3-2, A2-6, A2-7-1, A2-7-5; East Kounrad Mo-W 矿区成矿的钾长花岗岩 Ek-1 和 Zhanet Mo-W 矿区成矿的钾长花岗岩斑岩 Zh-2-1, Zh-2-10; Sayak-I 矽卡岩型 Cu 矿成矿的花岗闪长岩 S1-1; Akshatau W-Mo 矿区成矿的花岗岩 Ash-1; Akzhai Pb-Zn 矿区成矿的闪长玢岩 Ak-3)进行了电子探针和(EMP)和 LA-ICP-MS 分析研究。

磷灰石中氯的含量与氟呈负相关关系。Ak-3 的磷灰石显示出最高的 Cl 含量, w(Cl)平均值为 1.05%, 最低的 F/Cl 比值。Ek-1, Zh-2-10 和 Zh-2-1 的磷灰石 Cl 含量低, w(F)高于 3.6%。Pb-Zn 矿化闪长玢岩的磷灰石具有高的 Cl 含量和低的 F/Cl 比值, 可能与高流体含量有关(Boudreau and Kruger, 1990)。Mo-W 矿化花岗岩的磷灰石具有高的 F, 低的 Cl 含量和高的 F/Cl 比值, 这可能反映岩浆来自于风化的沉积源区岩石熔融。

Aktogai 铜钼矿化的斑岩磷灰石显示出相对高的 MnO、FeO、MgO 含量。Mo-W 矿化的 Ek-1, Zh-2-1 和 Zh-2-10 磷灰石具有高的 MnO 含量(大多数 w(MnO)高于 0.2%), 低的 MgO 含量(w(MgO)低于 0.04%)。磷灰石中 MnO 含量可能与岩浆的演化程度有关。因此磷灰石中 MnO 含量可以用来指示岩浆的演化程度和矿床类型(Belousova et al., 2002)。

磷灰石中的锶和钇含量变化很宽, 分别从 $<50 \times 10^{-6}$ ~ 1000×10^{-6} , 和 184×10^{-6} 到几千 $\times 10^{-6}$, 并且大致显示出负相关关系, 这反映出这两个元素在分异过程中不同的行为。因此磷灰石中的 Sr 和 Y 含量可能可以用来指示岩石化学组成和相关的矿床类型(Belousova et al., 2002)。A2-6 含有微弱的负(Eu/Eu*)_N 异常(值为 0.51~0.99), 样品 A1-1 具有强亏损的(Eu/Eu*)_N 特征(值为 0.072~0.081), 其他样品磷灰石显示出中度亏损(Eu/Eu*)_N (值为 0.21~0.48)。这种(Eu/Eu*)_N 异常的程度反映了氧化还原条件的强弱。

不同矿床类型磷灰石显示出不同的稀土元素配分型式。依据磷灰石的稀土元素分配模式, 样品可以分成 4 个类型(图 1)。

*本文受中科院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-107)和国家自然科学基金(40772066)联合资助
第一作者简介 曹明坚, 男, 1985 年生, 硕博连读生, 矿床学专业, E-mail: caomingjian@mial.iggcas.ac.cn

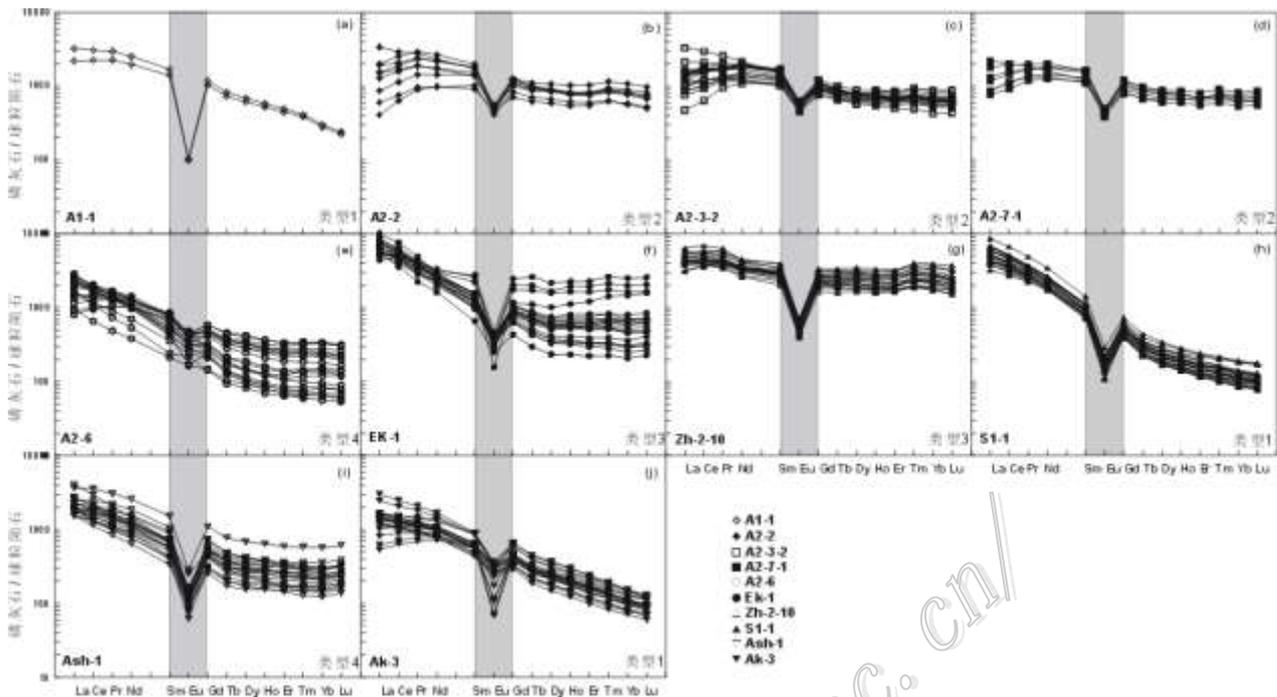


图1 磷灰石球粒陨石标准化图解。球粒陨石标准值引自(Taylor and McLennan, 1985)

类型(1) Aktogai 花岗闪长岩基、Sayak- I 矽卡岩花岗闪长岩和 Akzhal Pb-Zn 闪长玢岩 (A1-1, S1-1 和 Ak-3), 具有强烈右倾的 REE 配分, 以及最大的负 $(Eu/Eu^*)_N$ 异常特征。表明富 HREE 的矿物相 (角闪石和/或锆石) 过早的结晶以及岩浆最还原的特性。

类型(2) Aktogai 含铜钼斑岩(A2-2, A2-3-2 和 A2-7-1), LREE 具有向上凸的特征, 总体上 LREE 轻微富集, MREE 和 HREE 平坦, 具有中等负 $(Eu/Eu^*)_N$ 异常特征。表明褐帘石和岩浆演化过程中发生了结晶分异作用。

类型(3) East Kounrad 和 Zhanet 钼钨矿化钾长花岗岩(EK-1 和 Zh-2-10), 富集 LREE, 强的负 $(Eu/Eu^*)_N$ 异常, MREE 和 HREE 平坦, 以及特征的 Nd 亏损。而亏损 Nd 的特点可能是继承了岩石的性质。

类型(4) Aktogai 晚期花岗闪长班岩与 Akshatau 钨钼矿矿化的花岗岩 (A2-6 和 Ash-1), 右倾稀土元素配分, 富集 LREE, 负 $(Eu/Eu^*)_N$ 异常, MREE 和 HREE 平坦, 并且具有很宽的 REE 含量范围。反映出磷灰石相对漫长的结晶过程。

参考文献 (略)