

稀有金属伟晶岩锆石的 REE 特征、Zr/Hf 和 Y/Ho 比值对岩浆-热液演化过程的指示

吕正航, 张辉, 唐勇

(中国科学院 地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002)

岩浆-热液演化过程对成矿过程具有重要成因意义和科学研究价值, 目前对这一过程的了解非常有限, 因此备受关注 and 争议。完善分异的稀有金属伟晶岩通常经历了岩浆、岩浆-热液和热液三个阶段的演化, 而目前对岩浆-热液过渡阶段性质尚不完全清楚, 只是将其定性为“介于岩浆阶段和热液阶段之间的过渡阶段并以熔体相、晶体相和流体相共存为特征”(Burnham and Ohmoto, 1980; London, 1986)。

新疆阿尔泰柯鲁木特 112 号伟晶岩作为大-中型 Li-Nb-Ta 矿, 是目前该地区稀有金属储量和规模仅次于可可托海 3 号脉的伟晶岩脉, 经历了较高分异演化而形成了钠化中细-中粗粒结构带 (I)、钠化小块体带 (II)、石英-钠长石-锂辉石带 (III)、钠长石-石英-白云母巢体带 (IV)、糖晶状钠长石带 (V) 以及石英核带 (VI) 的六个矿物组合分带。在根据包裹体研究划分岩浆 (I, II)、岩浆-热液 (III, IV, V) 和热液 (VI) 三个演化阶段, 以及通过各个结构带锆石的 U-Pb 年代学具体量化各个阶段的持续演化时限 (Lv et al., 2012) 的基础上, 开展对三个阶段不同结构带的锆石 REE 特征、Zr/Hf 和 Y/Ho 元素对比值研究, 目的在于有效区分不同演化阶段的地球化学特征和岩浆-热液相互作用过程, 结果及认识如下:

(1) 早期岩浆阶段结构带 (I 和 II 带) 中的锆石具有较高的 HfO_2 含量 (平均 12.67%~16.04%) 及较小的 Zr/Hf 比值 (平均 8.49~5.98), 表明 112 号伟晶岩岩浆经历了高度的分异演化并导致体系中 Hf 的高度富集 (Kempe et al., 2000; Wang et al., 2000; Linnen, 2002); 岩浆-热液过渡阶段 (III 和 V 带) 锆石具有最高的 HfO_2 含量 (平均 18.63%~22.29%) 和最低 Zr/Hf 比值 (平均 5.24~3.93), 为该阶段流体相出溶、体系中 F 的富集加剧 Zr-Hf 分异的结果 (Linnen, 1998); 晚期热液阶段 (VI 带) 锆石显示了最低的 HfO_2 含量 (平均 6.81%) 和最高的 Zr/Hf 比值 (平均 15.71), 指示岩浆-热液过渡阶段的结束和热液阶段开始。IV 带锆石以遭受显着的

后期流体作用为特征, 其 HfO_2 含量 (平均 10.12%) 和 Zr/Hf 比值 (平均 10.18) 介于岩浆-热液过渡和热液阶段结构带锆石之间。I、II 和 IV 带中少数锆石的突高 HfO_2 含量并非正常岩浆分异的结果, 而是岩浆-热液阶段富 Hf 流体参与下的重结晶产物。

(2) 岩浆阶段 (I 和 II 带) 锆石显示稍高于 CHARAC 场 (CHARGE and RADIUS CONTROL, 24~34; Bau, 1997) 的 Y/Ho 比值, 平均分别为 47.0 和 39.5; 岩浆-热液过渡阶段 (III 和 V 带) 锆石显示最大程度偏离 CHARAC 场的 Y/Ho 比值, 平均分别为 128 和 122; 热液阶段 (VI 带) 锆石则显示中等偏离该场值范围的 Y/Ho 比值, 为 52。IV 带锆石具有继承核和新生边结构, Y/Ho 比值分别为 73 和 53。

(3) 各阶段锆石 REE 元素研究表明, 岩浆阶段 (I 和 II 带) 锆石显示最高的 $\Sigma\text{REE}+\text{Y}$ 含量 (平均分别为 4644×10^{-6} 和 2086×10^{-6}), 不发育稀土“四分组效应”, 仅 II 带少数重结晶锆石显示微弱的 M 型“四分组效应”; 岩浆-热液过渡阶段 (III 和 V 带) 锆石具最低的 $\Sigma\text{REE}+\text{Y}$ 含量 (分别为 101×10^{-6} 和 13×10^{-6}), 以及最强的 M 型“四分组效应”, 其 $\text{TE}_{3,4}$ 平均分别高达 1.70 和 1.49; 热液阶段 (VI 带) 锆石也显示较高的 $\Sigma\text{REE}+\text{Y}$ 含量 (平均为 2779×10^{-6}), 较强的 M 型“四分组效应” ($\text{TE}_{3,4}$ 平均为 1.52); IV 带锆石的继承核和新生锆石边的 $\Sigma\text{REE}+\text{Y}$ 含量分别为 290×10^{-6} 和 1042×10^{-6} , 继承核显示中等 M 型, 新生锆石则兼具 W 和 M 混合型“四分组效应”, 表明过渡阶段成核及后期流体交代作用特征。

综合上述研究结果, 本文认为岩浆-热液阶段极高的 HfO_2 含量和极低的 Zr/Hf 比值并非正常分异演化的结果, 而与富 F 流体相出溶有关; 并且该相优先富集 REE 以及 Ho (相对 Y) (Veksler et al., 2005; Badanina, 2006; Peretyazhko and Sonava, 2010), 该相的出溶导致残余硅酸盐熔体中极低的 REE 含量和最高的 Y/Ho 比值, 同时也很可能是导致不同阶段锆石的稀土“四分组效应”差异的主要机制。

基金项目: 国家自然科学基金项目 (批准号: 41073051; 40673052)

作者简介: 吕正航, 男, 1984 年生, 助理研究员, 主要从事稀有金属伟晶岩年代学及岩浆-热液演化过程研究。