

硅酸盐-磷酸盐平衡反应对 S 型花岗岩中 P 制约的实验研究

唐勇^{1,2}, 张辉¹, 饶冰³, 刘丛强¹

1. 中国科学院地球化学研究所 地球深部物质与流体作用地球化学实验室, 贵阳 550002;
2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 南京大学 成矿作用国家重点实验室, 南京 210093

关键词: 磷; 硅酸盐-磷酸盐; S 型花岗岩

与稀有金属成矿作用密切相关的岩浆岩, 包括花岗岩、伟晶岩和某些喷发岩(如流纹岩), 以过铝、富含挥发分(F、P、B、H₂O)为特征。富F花岗岩中存在高P和低P亚类已被揭示, Taylor^[1]详细区分了高P和低P亚类的矿物学、地球化学(包括主量元素、REE以及 $\delta^{18}\text{O}$)特征。

目前, 根据磷灰石溶解度模型、P在碱性长石与熔体相间的分配以及黑云母、锰铝榴石、透锂长石与对应的磷酸盐(包括斜磷锰铁矿、磷铝锂石-羟磷锂铝石)的平衡研究, 已对过铝质岩浆中P的归宿进行了有效的平衡^[2-6]。但未见锰铝榴石-磷灰石的平衡研究。由于锰铝榴石-磷灰石矿物共生组合是花岗岩和LCT型伟晶岩中最常见的矿物组合, 直到岩浆演化晚期才出现锂辉石-磷铝锂石-羟磷锂铝石的组合, 为此本文实验研究了锰铝榴石-磷灰石平衡反应对过铝质岩浆体系中P溶解度控制作用, 以探讨富F花岗岩中存在高P和低P亚类的可能机制。

1 实验和测试方法

由于江西宜春414岩体中的钠长石花岗岩具有与国外学者实验中常用的Macusanite较接近化学组成而被作为本实验研究的初始物。1:1的锰铝榴石和磷灰石(取自阿尔泰3号伟晶岩II带)混合物加入到等量的天然花岗岩初始物中, 在玛瑙研钵中反复研磨至均匀。200 mg样品置入黄金管后, 用微量进样器准确量取10 μL 的去离子水并沿黄金管壁慢慢注入, 使体系约含5%水。置入“RQV-快速内冷淬火”高温高压实验装置后, 先在1 kb、850 $^{\circ}\text{C}$ 条件下恒温24 h, 然后按0.1 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 速率降至实验温度(650 $^{\circ}\text{C}$ 、700 $^{\circ}\text{C}$ 、750 $^{\circ}\text{C}$ 、830 $^{\circ}\text{C}$), 实

验反应时间在高温条件下为14 d, 低温条件下为28 d。

实验产物玻璃相的主要化学成分是由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的EMPA-1600型电子探针分析完成的。以本实验室合成的4个含有不同P₂O₅的玻璃(实验室标样)测定实验产物中P₂O₅含量, 其他组分以Obsidian国际标样(火山玻璃)进行测定。测定Na、K、Al、Si的测试条件为: 加速电压20 kV、电流2 nA、束斑20 μm 、峰值计时30 s、背景值15 s; 其他元素的测试条件为: 加速电压20 kV、电流20 nA、束斑20 μm 、峰值计时30 s、背景值15 s。所有组分测定结果的相对误差小于1%。

2 实验结果与讨论

实验结果表明, 熔体中的P₂O₅含量在低温下对温度不敏感, 随着温度升高, P₂O₅含量逐渐升高。P₂O₅含量从650~700 $^{\circ}\text{C}$ 的0.11%~0.75%增加到750 $^{\circ}\text{C}$ 的0.47%~0.80%、830 $^{\circ}\text{C}$ 的0.35%~2.26%。高温熔体相中P₂O₅含量与熔体的ASI[饱和指数, $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO})$ 的摩尔数比值]存在相关性, 随ASI增大, P₂O₅在熔体中溶解显示略有降低趋势; 在ASI > 1.1, 本次实验结果几乎都分布于Pichavant等^[2]、Wolf和London^[3]及Bea等^[4]所获得磷灰石溶解模型之间(图1)。

上述硅酸盐-磷酸盐矿物间平衡反应可表达为:
 $10\text{Mn}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$ (锰铝榴石) + $9\text{P}_2\text{O}_5$ (m) + $3\text{H}_2\text{O} = 6\text{Mn}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ (锰磷灰石) + $10\text{Al}_2\text{SiO}_5$ (m) + 20SiO_2 (m)

已有的研究表明, 在强过铝质熔体中(ASI =

基金项目: 国家自然科学基金项目(40273030); 中国科学院知识创新重要方向项目(KZCX3-SW-124)

1.3~1.4), 在 750℃ 下, 由磷灰石溶解可使过铝质熔体中含有 0.6%~1.1% P_2O_5 。由泥质岩部分熔融形成的 S 型过铝质花岗岩熔体, 假如沉积磷灰石是唯一的 S 型花岗岩熔体中 P 的供体, 因锰铝榴石-磷灰石平衡反应以及 S 型岩浆形成温度 (650~830℃) 的制约, 其形成的岩浆中很可能含有 0.1%~0.8% 范围的 P_2O_5 。由此, 我们推断锰铝榴石-富 Mn 磷灰石的平衡对 S 型花岗岩岩浆中 P 含量的制约很可能是 Li-F 花岗岩存在低 P 和高 P 亚类的机理。

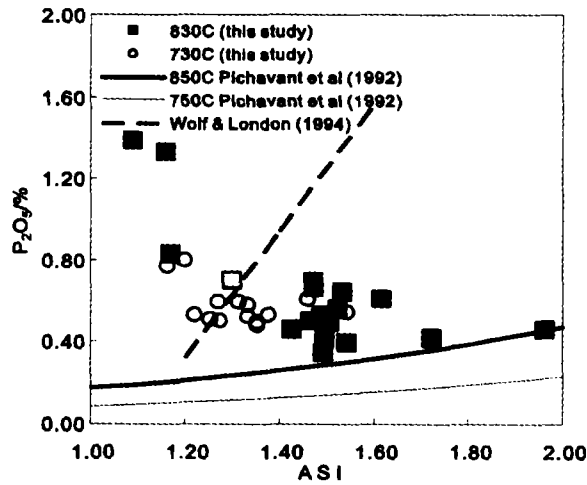


图1 锰铝榴石-磷灰石平衡反应下的熔体中 P_2O_5 含量与 ASI 相关性

参考文献:

- [1] Taylor R P. Petrological and geochemical characteristics of the Pleasant Ridge zinnwaldite-topaz granite, southern New Brunswick, and comparisons with other topaz-bearing felsic rocks [J]. *Can Mineral*, 1992, 30: 895-921.
- [2] Pichavant M, Montel J M, Richard L R. Apatite solubility in peraluminous liquids: experimental data and an extension of the Harrison-Watson Model [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1992, 56: 3855-3861.
- [3] Wolf M B, London D. Apatite dissolution into peraluminous haplogranitic melts: an experimental study of solubilities and mechanisms [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1994, 58: 4127-4145.
- [4] Bea F, Fershtater G L, Corretge G. The geochemistry of phosphorus in granite rocks and the effect of aluminium [J]. *Lithos*, 1992, 29: 43-56.
- [5] London D. Estimating abundances of volatile and other mobile components in evolved silicic melts through mineral-melt equilibria [J]. *J Petrol*, 1997, 38: 1691-1706.
- [6] London D, Wolf M B, Morgan VI G B, Garrido M G. Experimental silicate-phosphate equilibria in peraluminous granitic magmas, with a case study of the Albuquerque batholith at Tres Arroyos, Badajoz, Spain [J]. *J Petrol*, 1999, 40: 215-240.