

辉石-石榴石相转变超高压实验研究及其意义*

樊祺诚 刘若新 谢鸿森^① 张月明^① 林卓然

(国家地震局地质研究所, 北京 100029; ^①中国科学院地球化学研究所, 贵阳 550002)

关键词 辉石-石榴石相转变 超高压实验 石榴石橄榄岩成因

自然界中铝辉石可以看成无铝辉石中石榴石的固溶体, 高压下可以使铝辉石→石榴石+贫铝辉石^[1], 本文采用天然样品进行辉石-石榴石相转变超高压实验研究, 解释石榴石橄榄岩的成因.

1 实验样品与组装

初始物料是从辽宁宽甸天然的铬尖晶石二辉橄榄岩中分离得到铝顽辉石(En), 研磨成200目粉末备用, 初始组分由 $\text{En} \pm 5\% \sim 15\% \text{Al}_2\text{O}_3$ 组成. 样品装在钽片作衬里的 Al_2O_3 管(不加水样品)或上下能扣合密封的铜管内(加水样品), 样品放入传压介质六面体叶蜡石块中心孔内. 实验在中国科学院地球化学研究所 YJ-3000 吨压力机的紧装式六面顶装置上进行.

表1 初始组分与实验产物主要氧化物成分^{a)}

实验样号	PG-5				PG-1				PG-2				PG-3				PG-4			
初始组分	En				En + 5% Al_2O_3				En + 5% Al_2O_3				En + 5% Al_2O_3				En + 1.5% Al_2O_3			
P/GPa	5.0				4.5				5.0				5.5				5.0			
T/℃	1200				950				1000				1100				1100			
时间/h	2.5				4.0				4.0				4.0				4.0			
矿物	En-c	En-m	En-r	Gt(2)	En-c	En-r	Gt(2)	En-c	En-r	Gt(2)	En-c	En-r	Gt(2)	En	Gt	Cd(2)				
SiO ₂	53.50	54.56	56.50	42.40	54.30	54.83	41.49	54.64	57.61	42.71	54.10	56.60	42.80	54.30	43.20	0.19				
Cr ₂ O ₃	0.49	0.43	0.22	1.16	0.38	0.30	0.64	0.35	0.33	0.44	0.40	0.26	0.85	0.40	0.45	0.06				
Al ₂ O ₃	5.72	4.55	2.13	21.82	5.79	4.40	24.03	5.51	1.83	22.89	5.80	2.49	22.95	5.55	23.20	97.14				
FeO	6.31	6.74	6.29	7.99	6.29	5.59	6.99	6.47	5.18	7.56	6.54	5.36	6.92	6.30	6.48	0.45				
MgO	31.50	32.10	33.20	21.40	31.90	32.75	20.85	32.03	35.06	22.26	31.60	34.30	23.10	31.60	24.90	0.18				
CaO	1.11	1.19	0.90	4.18	1.09	0.78	5.47	0.97	0.25	3.33	0.93	0.55	2.90	1.11	1.28	0.00				
En	89.90	89.50	90.40		90.00	91.30		89.80	92.30		89.60	91.90		89.90						
Pyr	76.40				71.40				78.60				80.60				86.20			

a) 分析者: 中国科学院地质研究所徐平; c——中心, m——中间, r——边缘; () 内数字为分析个数

1996-01-15 收稿, 1996-04-15 收修改稿

* 国家自然科学基金资助项目

2 实验结果

实验的温压范围为 $T=950\sim 1\,200^{\circ}\text{C}$ 和 $P=4.5\sim 5.5\text{ GPa}$, 保压恒温时间 $2\sim 4\text{ h}$. 实验条件及产物成分见表1(限于篇幅部分结果未列). 为比较不同组分和温压条件下相转变情况, 避免样品中温度梯度的影响, 所有样品都沿样品管中部垂切, 并磨制成电子探针分析用光薄片.

2.1 实验产物岩相学特征

本次实验每个样品的保压恒温时间短($2\sim 4\text{ h}$), 我们在普通光学显微镜下(放大 <500 倍)没有观察到新生矿物相, 但通过电子探针背散射图象(放大 $1\,000\sim 3\,000$ 倍)普遍观察到大多

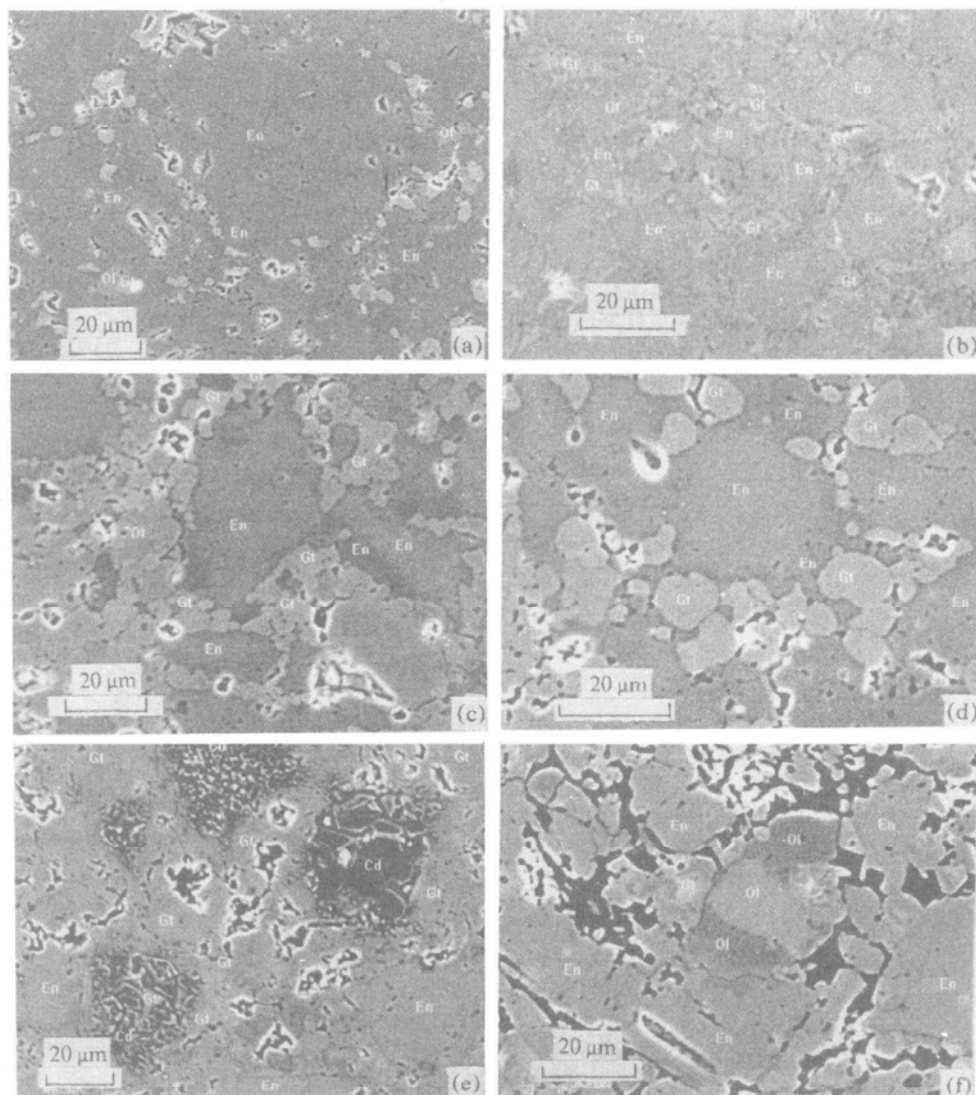


图1 电子探针背散射图象

(a) PG-5 细小分散状石榴石(Gt)充填于顽火辉石(En)隙间, 局部有橄榄石(Ol); (b) PG-1 石榴石和过渡产物呈网络状围绕顽火辉石; (c) PG-2 细粒石榴石环绕顽火辉石分布, 从顽火辉石中心向边缘灰度变化反映其成分分带现象; (d) PG-3 细粒较为自形的石榴石环绕顽火辉石分布; (e) PG-4 以新生石榴石为主, 并有相当数量的刚玉(Cd); (f) PG-6 含水样品中出现许多空洞(黑色区域), 只有极少量新生石榴石, 局部有橄榄石

数样品都出现微米级新生物相,大小一般由几个微米到十几个微米(图 1(a)~(d)). 对于相同初始组分($\text{En} + 5\% \text{Al}_2\text{O}_3$)的样品,相同的保压恒温时间(4 h),实验产物随着 P - T 升高(PG-1 $\rightarrow$ PG-2 $\rightarrow$ PG-3),新生石榴石含量增加($\approx 10\% \rightarrow 25\% \rightarrow 35\%$),同时粒度增大,沿铝顽辉石粒间呈环状分布. 当初始组分铝顽辉石中加入 $15\% \text{Al}_2\text{O}_3$ 时(PG4),则出现刚玉(Cd)(图 1(e)),含水样品(PG-6)的实验产物出现较多空洞,新生石榴石极少(图 1(f)). 这与我们在尖晶石-石榴石相转变研究中发现的含水样品的情况相似,水起了抑制辉石-石榴石相转变的作用^[1].

2.2 实验产物化学成分

从表 1 可以看出,新生物相及其化学成分与初始组分和 P - T 条件的依赖关系. 同样的初始组分(如 $\text{En} + 5\% \text{Al}_2\text{O}_3$),随 P - T 升高(PG-1 $\rightarrow$ PG-2 $\rightarrow$ PG-3),其镁铝榴石端员分子增加(Pyr 71.4 $\rightarrow$ 78.6 $\rightarrow$ 80.6). 当在上述同样组分中加入少量水时(PG-6),新生石榴石的镁铝榴石端员分子明显降低(Pyr 67.6),这与样品中极少发现新生石榴石的现象,可能同样说明水起了抑制辉石-石榴石之间相转变的作用. 最富 Al_2O_3 的样品(PG-4)产生了最富镁铝榴石端员分子的石榴石(Pyr 86.2). 铝顽辉石的成分分带现象十分明显,从颗粒中心到边缘, Al_2O_3 的减少最为显著(降低约 $1\% \sim 4\%$),这与相对低压(1.8~2.0 GPa)下尖晶石+铝顽辉石 $\rightarrow$ 石榴石+橄榄石相转变实验产物铝顽辉石的成分分带规律完全相反^[1],这种元素迁移变化规律符合铝顽辉石 $\rightarrow$ 石榴石+贫铝顽辉石相转变的需要,由于本次实验压力仅限于 4.5~5.5 GPa,保压恒温时间短(2~4 h),所以上述转变不可能十分彻底. 但实验产物的岩相学和化学成分变化规律已经指示了铝顽辉石 $\rightarrow$ 石榴石+贫铝顽辉石相转变的最终趋势,它依赖于实验的 P - T 条件、组分和持续时间.

3 自然界石榴石橄榄岩的成因

近些年在大别山-苏北-胶东南超高压变质带普遍发现超高压(3.5~5.0 GPa)和相对低温($< 1\,000^\circ\text{C}$)成因的石榴石橄榄岩和石榴石辉石岩,它们的辉石均为贫铝辉石(斜方辉石的 $\text{Al}_2\text{O}_3 < 0.2\%$)^[2],与阿尔卑斯高压变质超镁铁岩情况相似^[3]. 新近在大别山毛屋、碧溪岭、南山岭等地又发现钛斜硅镁石、菱镁矿等高压矿物(形成深度 $> 120 \sim 150 \text{ km}$),使贫铝辉石-钛斜硅镁石-菱镁矿组合成为超镁铁岩超高压变质成因的标志^[2]. 新生代玄武岩中石榴石二辉橄榄岩的辉石则是相对富铝斜方辉石和单斜辉石(Al_2O_3 分别为 $5\% \sim 6\%$ 和 $6\% \sim 7\%$),全岩的 Al_2O_3 为 $4\% \sim 5\%$,其形成深度大于 80 km ^[4]. 金伯利岩中石榴石橄榄岩捕虏体被认为是来自 100 km 以上的更大深度,其辉石为较贫铝辉石,顽火辉石的 $\text{Al}_2\text{O}_3 < 2.5\%$,最常见的 $\text{Al}_2\text{O}_3 < 1\%$;透辉石的 Al_2O_3 一般 $< 2.5\%$;其全岩的 $\text{Al}_2\text{O}_3 < 2\%$ ^[4,5]. 所以辉石中的 Al_2O_3 可粗略作为判断石榴石橄榄岩来源深度的标志,随深度加大,辉石趋于贫铝. 本次实验采用天然样品在超高压(4.5~5.5 GPa)下实现了铝顽辉石向石榴石的转变,铝顽辉石边缘的 Al_2O_3 显著降低表明了向贫铝顽辉石转变的趋势. 可以预料,随着压力和保压恒温时间的增加,实验产物中石榴石的百分含量要增加,铝顽辉石最终也要转变为贫铝顽辉石. 当初始组分天然铝顽辉石中加入 $15\% \text{Al}_2\text{O}_3$ 时,实验产物出现石榴石和刚玉,这一实验结果同时支持了高压带中与石榴石橄榄岩共存的红刚玉石榴岩的超高压成因^[6]. 根据辉石的 Al_2O_3 含量,上地幔石榴石橄榄

1)樊祺诚,刘若新,谢鸿森等. 上地幔尖晶石-石榴石相转变实验研究及其意义(待发表)

岩大体可分为上下两层,新生代玄武岩中石榴石橄榄岩由富铝辉石+石榴石+橄榄石组成,形成深度限于 80~120 km;深度大于 120~150 km 时石榴石橄榄岩趋向于由贫铝辉石+石榴石+橄榄石组成,包括金伯利岩和高压带中的石榴石橄榄岩。

4 结 论

在 1 000℃左右和 4.5~5.5 GPa 条件下,实现了天然铝顽辉石向石榴石和贫铝辉石转变,当初始组分铝顽辉石中加入 15% Al_2O_3 时,产生石榴石和刚玉新相。实验结果比较合理地解释了大别山-苏北-胶东南高压带超镁铁岩,以及与石榴石橄榄岩共存的红刚玉石榴岩的超高压(3.5~5.0 GPa)和相对低温的(<1 000℃)成因条件。从大别山-苏北-胶东南高压带、金伯利岩和新生代玄武岩中石榴石橄榄岩的成因矿物学、岩石学、 P - T 平衡条件和本文超高压实验结果,推论上地幔石榴石橄榄岩随深度加大从富铝辉石石榴石橄榄岩(80~120 km)向贫铝辉石石榴石橄榄岩(>120~150 km)转变。

参 考 文 献

- 1 Ringwood A E. The pyroxene-garnet transformation in the earth's mantle. *Earth Planet Sci Letters*, 1967, 2: 255~263
- 2 樊祺诚,刘若新,张 旗等. 大别山超高压变质带镁铁-超镁铁岩的岩石学与高压矿物组合. *中国科学, D 辑*, 1996, 26(3): 265~270
- 3 Carswell D A. The metamorphic evolution of Mg-Cr type Norwegian garnet peridotites. *Lithos*, 1986, 19: 279~297
- 4 Fan Q C, Hooper P R. The mineral Chemistry of ultramafic xenoliths of eastern China: implication for upper mantle composition and the paleogeotherms. *J Petrol*, 1989, 30(5): 1 117~1 158
- 5 Dawson J B. *Kimberlites and Their Xenoliths*. New York, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 1980
- 6 樊祺诚,刘若新,马宝林等. 东海芝麻坊的红刚玉石榴岩. *岩石学报*, 1992, 8(3): 90~95, 291~295