

江苏孟中榴辉岩中单斜辉石向石榴石相转变的初步研究^{①②}

陈宣华 王小凤 陈正乐

(中国地质科学院地质力学研究所)

舒桂明 李小凤

(北京大学电子探针分析实验室)

摘要 苏鲁超高压榴辉岩的成因一直是一个令人困惑的问题。本文通过对榴辉岩的进变质作用——榴辉岩相向石榴石岩相转变的初步研究,为苏鲁榴辉岩带的地幔转换带(高压可达 10GPa)成因提供了最初的证据。

关键词 榴辉岩 进变质 单斜辉石 石榴石相 江苏孟中

0 引言

大别—苏鲁地区高压超高压变质带的成因是目前地学界比较关注的问题之一。前人的研究表明,该地区榴辉岩的变质压力可能曾达到 3GPa 左右,局部可达 6GPa 左右,变质温度可达 900℃或更高^[1-9]。

作者对江苏东海县孟中榴辉岩进行了研究,发现该榴辉岩体中存在榴辉岩相向石榴石岩相转变和单斜辉石向石榴石相转变的证据。单斜辉石向石榴石相转变是榴辉岩相向石榴石岩相转变的一种进变质反应,发生在更高的压力下。根据 Irifune 等(1986)^[10]和 Liu (1980)^[11]的高温高压实验岩石学研究,这种相转变发生于 1200℃,压力在 10GPa 以上的温压范围。它相当于地球物理学家们所指的地幔转换带条件,深度在 400km 左右或更深^{[10],[12,13]}。

1 苏鲁榴辉岩地质概况

苏鲁榴辉岩带是苏鲁高压超高压变质地体的组成部分,是秦岭—大别—苏鲁榴辉岩带的东段,总体呈北东向沿海岸带展布。其西部以郯庐断裂带为界,北西边界在胶南地区为五

① 国家自然科学基金和地矿部“八五”重大基础课题资助项目。

② 李中坚、刘贵章、陈柏林、张青等同志参加了部分野外工作。

莲—青岛断裂,南东边界为嘉山—响水断裂。榴辉岩一般呈透镜状产出,部分为似层状、长条状或肠状,规模大小悬殊,从数厘米到数百米不等。该区榴辉岩有3种产状:(1)产于基性—超基性岩如石榴橄榄岩中;(2)产于片麻岩中;(3)产于层状变质岩系如石英岩、大理岩、变粒岩和云母片岩中。

榴辉岩经历了较强的变形变质作用。早期表现为石榴石和绿辉石的定向集中,构成早期面理。后又经历了褶皱作用,形成榴辉岩顶厚紧闭褶皱、柔流褶皱及肠状褶皱等。此外,榴辉岩总体上多赋存于与围岩共同构成的褶皱转折部位。榴辉岩常与围岩共同经历了韧性剪切的糜棱岩化作用,形成榴辉岩相糜棱岩及向角闪岩相糜棱岩的过渡。后期榴辉岩经历了脆性变形,表现为石榴石和绿辉石的脆性破裂纹和碎斑,伴随有角闪岩相的退变质作用。

2 孟中榴辉岩中相转变的初步研究

本文研究的榴辉岩和石榴石岩取自江苏省东海县孟中的一个榴辉岩体,围岩为蛇纹石化超基性岩,它们共同侵入于前寒武纪泥质片麻岩中。该地位于苏鲁榴辉岩带的西南端。榴辉岩主要由石榴石、单斜辉石(绿辉石)组成,含有金红石、兰晶石、多硅白云母、黝帘石等。榴辉岩中常含有石榴石岩块体,石榴石含量在90%左右,绿辉石及金红石在石榴石岩中以包裹体或交代残余存在,含量较少。榴辉岩与石榴石岩的相转变界线不清楚。退变质反应有呈假象交代绿辉石的镁角闪石(普遍角闪石)等。榴辉岩和石榴石岩的塑性变形发育。

野外露头及手标本观察结果说明,石榴石岩可能是由榴辉岩转变而来的。通过岩石薄片的镜下观察,发现石榴石和单斜辉石(绿辉石)呈紧密共生,而在石榴石岩中,更有石榴石交代单斜辉石的现象,以及单斜辉石向石榴石转变的典型结构(图1、2)。

笔者对这两个反应结构进行了分析。表1列出了电子探针分析结果。为了计算和对比方便,这里以12个氧原子数来计算单斜辉石的阳离子数和化学式。这样,石榴石和单斜辉石在成分上就可以很容易地进行对比。结果表明,图1中Cpx是一含有石榴石成分的单斜辉石。它含有39.3mol%的石榴石(其中镁铝榴石89.7mol%,钙铝榴石10.3mol%)和60.7mol%的单斜辉石(化学式按 $(\text{NaAl}, \text{NaFe}^{3+}, \text{CaMg})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]_2$,下同。其中硬玉质成分占29.4%,透辉石占70.6%)。而Gar-1为一种含有3.9mol%单斜辉石成分的含钠石榴石,经过计算而得到的含钠石榴石的化学式(已剔除单斜辉石成分)为:

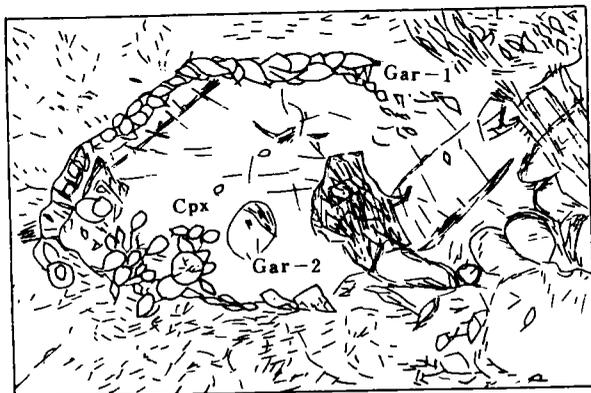
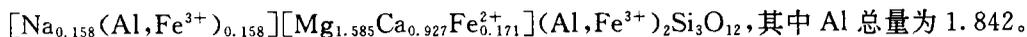


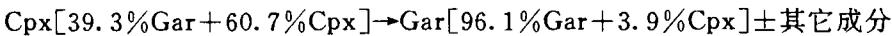
图1 单斜辉石被石榴石部分交代而形成的反应结构

Fig.1 Sketch of a reaction texture produced by garnets partially replacing clinopyroxene

Gar:石榴石;Cpx:单斜辉石

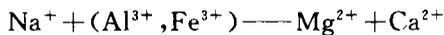


单斜辉石(Cpx)转变为细粒石榴石(Gar-1)的反应,可以用下式表示:



其中, Gar 为 $(\text{Mg}, \text{Ca}, \text{Fe}^{2+})_3 (\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2 [\text{SiO}_4]_3$, Cpx 为 $(\text{NaAl}, \text{NaFe}^{3+}, \text{CaMg})_2 [\text{Si}_2\text{O}_6]_2$

该式说明,一种石榴石——单斜辉石固溶体转化为一种含钠石榴石,在生成的细粒含钠石榴石中,存在下列的置换关系:



计算可得,前者对后者的置换量达到10%左右。剔除这部分置换成分,得到该石榴石中大致含量(均为摩尔分数,下同)为镁铝榴石 59.1%,钙铝榴石 34.6%,铁铝榴石 6.3%(其中可以有 Fe^{3+} 对 Al^{3+} 的替换),说明产物仍是高镁成分者。

图 2 中(93405-(1))的反应进行得较为彻底,结构较典型,单斜辉石 Cpx-1 + Cpx-2 被粒度较大的石榴石包围,形成环圈结构。

中心部位单斜辉石 Cpx-1 为含有 8.7%石榴石成分的单斜辉石(占 91.3%,其中硬玉 36.4%,透辉石 63.6%)。单斜辉石 Cpx-2 则含有较高的石榴石成分(9.7%)。边部石榴石的成分比较均一,且含镁铝榴石较高(5.3%±)。反应可用下式表示:

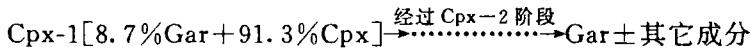


表 1 中还列出了样品 93405-5(2)中的一个矿物对单斜辉石—石榴石成分。计算的结果说明该单斜辉石固溶体中含有 23.1%石榴石成分和 76.9%单斜辉石成分。前者组成为 47.9%镁铝榴石+52.1%钙铝榴石,后者由 42.5%(霓石质)硬玉+57.5%透辉石组成。该石榴石则是由 52.2%镁铝榴石+21.7%铁铝榴石+26.1%钙铝榴石组成。

以上结果说明孟中榴辉岩中存在石榴石—单斜辉石固溶体和单斜辉石向石榴石相转变反应,以及部分石榴石中存在 $\text{Na}^+ - \text{Al}^{3+} (\text{Fe}^{3+})$ 对 $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} (\text{Fe}^{2+})$ 的置换。

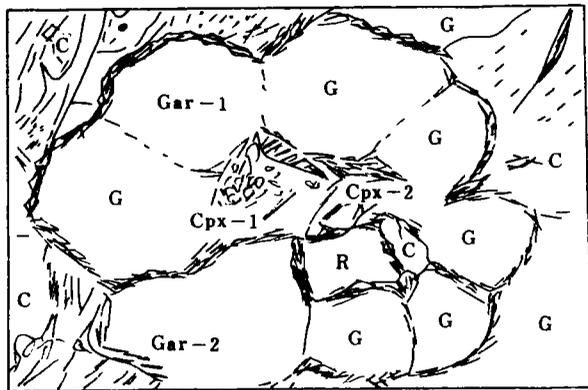


图 2 石榴石交代单斜辉石形成的环圈结构

Fig. 2 Sketch of atoll structure formed by garnets replacing clinopyroxene

G, Gar: 石榴石; C, Cpx: 单斜辉石

3 小结

通过对江苏孟中榴辉岩中单斜辉石—石榴石相转变的观察研究,可以初步认为,该榴辉岩体经历了一次异常高压变质作用,变质压力在 10GPa 以上,相当于深度在 400km 左右的地幔转换带条件。江苏孟中榴辉岩中单斜辉石向石榴石相转变的发现,为该地区榴辉岩的地幔转换带成因提供了有益资料,也为研究地幔转换带性质提供了一个地质依据。

表1 孟中榴辉岩中石榴石和单斜辉石电子探针分析数据及计算结果

Table 1 Data of garnets and clinopyroxene in eclogites from Mengzhong by means of electron-probe analysis and its calculated results

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
样品号	93405(2)			93405-(1)				93405-5(2)	
矿物代码	Cpx	Gar-1	Gar-2	Cpx-1	Cpx-2	Gar-1	Gar-2	Cpx	Gar
Na ₂ O	2.39	1.71	0.15	5.33	5.18	0.17	0.05<	4.50	0.17
MgO	18.82	14.04	13.37	11.19	11.09	15.05	14.72	11.59	14.60
Al ₂ O ₃	12.59	20.64	23.03	9.15	9.60	23.39	23.69	12.06	23.44
SiO ₂	49.80	41.19	39.32	54.59	55.17	40.26	40.60	52.60	40.46
K ₂ O	0.01<	-0.00<	-0.04<	0.04	-0.04<	-0.01<	-0.06<	0.00<	-0.01<
CaO	11.65	11.47	9.98	17.84	17.85	9.89	0.98	16.66	10.20
TiO ₂	0.12	0.21	0.19	0.15	0.06	-0.00<	-0.04<	0.09	0.09
FeO*	2.75	7.67	11.22	1.14	1.72	10.58	10.17	2.76	10.84
MnO	0.10	0.24	0.33	-0.07<	-0.18	0.31	0.27	-0.18<	0.20
总计	98.23	97.17	97.60	99.44	100.67	99.65	99.43	100.26	99.99
以12个氧原子为基础计算的阳离子数									
Na	0.336	0.252	0.024	0.744	0.708	0.024	0.012	0.624	0.024
Mg	2.016	1.560	1.500	1.200	1.176	1.644	1.596	1.236	1.584
Al	1.068	1.812	2.040	0.768	0.804	2.016	2.040	1.008	2.016
Si	3.576	3.072	2.952	3.912	3.900	2.940	2.964	3.744	2.952
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.900	0.912	0.804	1.368	1.356	0.780	0.780	1.272	0.792
Ti	0.012	0.012	0.012	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe**	0.168	0.480	0.708	0.072	0.096	0.648	0.624	0.168	0.660
Mn	0.012	0.012	0.024	0.000	0.012	0.024	0.012	0.012	0.012
总量	8.088	8.112	8.064	8.076	8.052	8.076	8.028	8.064	8.040
Gar(mol%)	39.3	96.1	100	8.7	9.7	100	100	23.1	100
Cpx(mol%)	60.7	3.9		91.3	90.3			76.9	

1 探针分析在北京大学电子探针分析实验室完成。

2 石榴石按(Mg,Ca,Fe²⁺)₃(Al,Fe³⁺)₂[SiO₄]₃,单斜辉石按(NaAl,NaFe³⁺,CaMg)₂[Si₂O₆]₂,以便与石榴石比较。

FeO* = FeO + Fe₂O₃; Fe** = Fe²⁺ + Fe³⁺; Cpx—单斜辉石; Gar—石榴石。

参 考 文 献

- 1 Wang X, Liou J G and Mao H K. Coesite-bearing eclogite from the Dabie Mountains in central China. *Geology*, 1989, 17:1085-1088.
- 2 Yang J and Smith D C, Evidence for a former sanidine-coesite-eclogite at Lanshantou, eastern China, and the recognition of the Chinese "Su-Lu Coesite-eclogite Province". *Terra Abs.*, 1989, 1:26.
- 3 Okay A I, Xu S and Sengor A M C, Coesite from the Dabieshan eclogites, central China. *European Journal of Mineralogy.*, 1989, 1:595-598.
- 4 Enami M and Zang Q, Quartz pseudomorphs after coesite from Shandong province, east China. *Am. Mineral.*, 1990, 75: 381-386.
- 5 Hirajima T, Ishiwatari A, Cong B, Zhang R, Banno S and Nozaka T, Coesite from Mengzhong eclogite at Donghai county, northeastern Jiangsu province, China. *Mineral. Mag.*, 1990, 54:579-583.
- 6 Xu S, Su W, Liu Y, Jiang L, Ji S, Okay A I and Sengor A M C, Diamond in the high pressure metamorphic rocks in the eastern part of the Dabie Mountains. *Kexuetongbao*, 1991, 17:1318-1321.
- 7 张树业, 胡克, 刘晓春, 常丽华, 大别—苏鲁地区含柯石英榴辉岩中微细金刚石和原生金的发现. *中国地质*, 1991, 11:28-29.
- 8 Yang J, Goclard G, Kienast J R, Lu Y and Sun J, Ultrahigh-pressure (6 GPa) magnesite-bearing garnet peridotites

from north-eastern Jiangsu, China. *J. Geology*, 1993, 101: 541—554.

- 9 Zhang R Y and Liou J G, Significance of magnesite paragenesis in ultrahigh-pressure metamorphic rocks. *Am. Mineral.*, 1994, 79: 397—400.
- 10 Irifune T, Ringwood A E and Hibberson W O, The eclogite-garnetite transformations at high pressure and some geophysical implications. *Earth. Planet. Sci. Lett.*, 1986, 77: 245—256.
- 11 Liu L, The pyroxene-garnet transformation and its implication for the 200km seismic discontinuity. *Phys. Earth. Planet. Inter.*, 1980, 23: 286—291.
- 12 Bass J D and Anderson D L, Composition of the upper mantle: geophysical test of two models. *Geophys. Res. Lett.*, 1984, 11: 237—240.
- 13 Weidner D L, Mantle model based on measured physical properties of minerals, in "Chemistry and Physics of Terrestrial Planets", Editor (S. K. Saxena), 1986, 6: 251—274, Springer—Verlag, New York.

A PRELIMINARY STUDY OF CLINOPYROXENE-GARNET TRANSFORMATION IN ECLOGITE FROM MENGZHONG, JIANGSU PROVINCE

Chen Xuanhua Wang Xiaofeng Chen Zhengle

(*Institute of Geomechanics, CAGS*)

Shu Guiming Li Xiaofeng

(*Lab of Electron Microprobe, Peking University*)

Abstract The genesis of the Jiangsu-Shandong ultrahigh-pressure eclogites has so far remained a puzzling problem. The preliminary study of the prograde metamorphism of the eclogites as represented by the eclogite-garnetite transformation in this paper, provides some initial evidence for their origin as a mantle transition zone (pressure up to 10 GPa).

Key words eclogite, prograde metamorphism, clinopyroxene-garnet transformation, Mengzhong in Jiangsu Province

第一作者简介

陈宣华,男,助理研究员,1967年生。1992年毕业于北京大学地质学系,矿床学理学硕士,主要从事成因矿物学、构造岩石学研究。通讯地址:北京市海淀区中央民族学院南路11号地质力学研究所。邮政编码:100081。