

孟中榴辉岩形成和演化的 P-T 轨迹^{*}

陈宣华 王小凤 陈正乐 张青

(中国地质科学院地质力学研究所)

摘要 本文研究了江苏东海县孟中榴辉岩富铝单斜辉石中石榴子石出溶作用,利用温压计对榴辉岩中各阶段矿物组合进行了温压估算,由此建立了孟中榴辉岩形成和演化的 P-T 轨迹。结果表明,该榴辉岩经历了地幔条件下由于降温和可能的升压作用,富铝单斜辉石中出溶石榴子石并形成榴辉岩;榴辉岩构造侵位到高角闪岩相片麻岩基底中;退化变质这 3 个阶段的演化过程。

关键词 榴辉岩 P-T 轨迹

作者曾对江苏东海县孟中榴辉岩中单斜辉石向石榴子石相转变作过初步研究^[1],转变初期的单斜辉石具有富铝特征。进一步分析表明,这种转变是通过富铝单斜辉石中出溶石榴子石并形成绿辉石而实现的,转变过程中伴随有温度的下降和可能的压力升高。本文试图通过孟中榴辉岩演化各阶段的温压计算,建立 P-T 演化轨迹

1 富铝单斜辉石中石榴子石的出溶

孟中榴辉岩主要由石榴子石和绿辉石质单斜辉石组成,并含有少量富铝的钠质普通辉石。电子探针分析^①,早期的富铝钠质普通辉石颗粒成分为(wt%): SiO₂: 48.39-49.80, TiO₂: 0.15-0.12, Al₂O₃: 14.15-12.59, FeO: 2.96-2.75, MnO: 0.00-0.10, MgO: 17.80-18.82, CaO: 11.45-11.65, Na₂O: 2.78-2.39, K₂O: 0.56-0.00, 总量 98.24-98.23

偏光镜下早期的富铝单斜辉石中,石榴子石出溶作用可分为两种:一为完全出溶结构,出溶的石榴子石在富铝单斜辉石母体中分布较均匀,并具明显的定向构造,石榴子石短柱状晶体的长轴总体上平行于单斜辉石(100)晶面(图 1)。另一种为不完全出溶结构,出溶的细小石榴子石晶粒主要分布在富铝单斜辉石的边部,形成环边反应结构。

富铝单斜辉石出溶石榴子石过程是一种矿物反应过程,涉及两种反应:净转变反应及置换反应(Sautter & Harte, 1988)^[2]。净转变反应涉及体积变化,因而既与温度有关,也与压力有关。纯粹的置换反应,由于体积变化很小,因而只与温度有关。

出溶母体富铝单斜辉石中成核并生长一个富铝的石榴子石相,需要有 AlMg⁻¹Si⁻¹置换对的扩散,因此,石榴子石出溶的净转变反应可以写成:

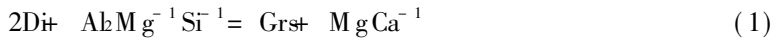
* 地质矿产部地质力学开放研究实验室资助项目。

① 北京大学电子探针分析实验室,岛津 EPM 810Q 波谱仪,15kV,电子束斑 5 μ m



图 1 富铝单斜辉石中石榴子石的出溶

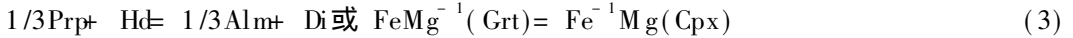
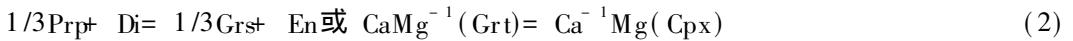
Fig. 1 Exsolution of garnets in Al_2O_3 -rich clinopyroxene
根据正交偏光下照片素描, $L = 1.4mm$



或者

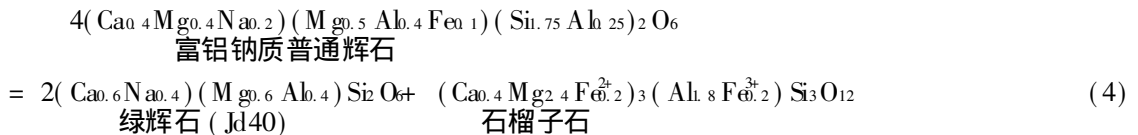


石榴子石和单斜辉石两相中置换反应包括:



以上反应式中矿物代码为: Di 透辉石, Grs 钙铝榴石, CaTs 钙契尔马克分子, Prp 镁铝榴石, En 顽火辉石, Grt 石榴子石, Cpx 单斜辉石, Hd 钙铁辉石, Alm 铁铝榴石。

由于富铝单斜辉石中含有一定的钠质,因此,石榴子石出溶过程中将产生绿辉石。根据孟中榴辉岩早期富铝钠质普通辉石成分,可以写出出溶石榴子石的早期反应如下:



反应(4)说明富铝单斜辉石可能是榴辉岩的母体,也就是说,榴辉岩可以通过富铝单斜辉石出溶石榴子石而形成。

早期富铝钠质普通辉石具地幔成因。据 Davis & Boyd (1966) 实验^[3],该辉石形成时的温度可能为 $1350^{\circ}C$ 。根据 Finnerty & Boyd (1987), Nickel & Green (1985), Carswell & Gibb (1987), Bertrand 等 (1986) 的岩石学地温曲线^[4-7],可以估算富铝钠质普通辉石形成时的压力为 $4.7-6.0GPa$ 。

石榴子石出溶过程实际上是单斜辉石向石榴子石相的转变过程。反应(4)说明,可能有 50% 的单斜辉石转变为石榴子石,因此石榴子石含量增加。相转变过程中体积有所减少,这说明压力升高有利于石榴子石的出溶。事实上, Irifune 等 (1986)^[8] 和 Liu (1980)^[9] 的高温高压实验岩石学研究说明,在温度为 $1200^{\circ}C$ 时,单斜辉石向石榴子石的相转变发生在 $10.0GPa$ 以上,高于 $1350^{\circ}C$ 富铝单斜辉石形成时的压力条件。

晚期的富铝钠质普通辉石成分 (电子探针分析结果,实验条件同上, wt%) 为: SiO_2 52.60,

TiO₂: 0.09, Al₂O₃: 12.06, FeO: 2.76, MnO: 0.00, MgO: 11.59, CaO: 16.66, Na₂O: 4.50, K₂O: 0.00, 总量 100.26 根据 Davis和 Boyd(1966)实验^[3]得到的温度为 840°C,由此再根据前人的岩石学地温曲线^[4-7]得到的压力范围为 2.7-3.5GPa左右。

2 石榴子石—单斜辉石矿物对温压计算

孟中榴辉岩在形成之后,经历了长期的演化。图 2以化学成分图解描述了石榴子石和单斜辉石之间的演化关系,并用箭头指示了这两种矿物成分变化的方向。A—C—FM 图解反映了榴辉岩和富铝单斜辉石之间的关系:后者是前者的母体。

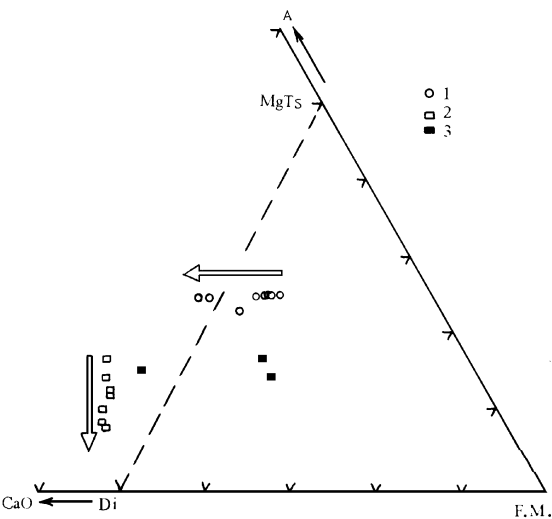


图 2 孟中榴辉岩 A—C—FM 图解

Fig. 2 A—C—FM diagram for Mengzhong eclogite
其中 A= Al₂O₃, C= CaO, FM= FeO(t)+ MgO,按分子百分数计算
1. 石榴子石; 2. 单斜辉石(绿辉石); 3. 富铝单斜辉石

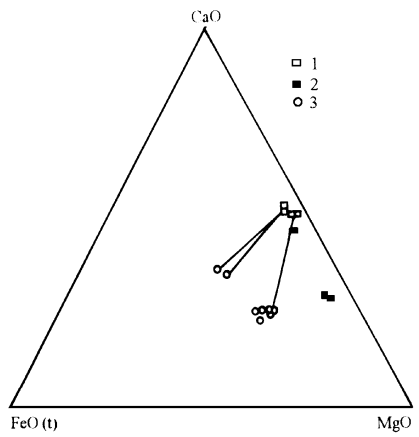


图 3 CaO—MgO—FeO 分子百分数图解
Fig. 3 CaO—MgO—FeO diagram in molecular proportions with FeO representing total Fe

图中给出了三个石榴子石—单斜辉石矿物对
1. 单斜辉石(绿辉石); 2. 富铝单斜辉石; 3. 石榴子石

图 3则反映了出溶石榴子石和形成的单斜辉石(绿辉石)之间的 FeMg⁻¹和 CaMg⁻¹置换图中用线段联接的紧密相邻的共生石榴子石—单斜辉石矿物对,反映了温压的变化

图 4给出了 Al₂O₃(wt%)—Jd图解,图中II 区的变化趋势说明了随着石榴子石的出溶,在形成的单斜辉石中硬玉组分明显地减少,单斜辉石由典型的绿辉石成分逐渐变化为钠质普通辉石。I 区则反映了出溶母体富铝单斜辉石的演化,早期为含硬玉组分较低的富铝单斜辉石;演化过程中,母体钠含量增加, Al₂O₃ 含量降低,硬玉组分增加。

利用图 3中给出的 3个石榴子石—单斜辉石(绿辉石)矿物对,根据 Krogh (1988)^[10]改进的温度计算公式:

$$T(K) = [-6173(X_{Ca}^{Gr})^2 + 6731(X_{Ca}^{Gr}) + 1879 + 10^3 P (M Pa)] / (\ln K_D + 1.393),$$

其中,

$$K_D = \frac{(X_{Fe^{2+}} / X_{Mg})_{Gr}}{(X_{Fe^{2+}} / X_{Mg})_{Cpx}}$$

并结合 Holland(1980)^[11]设计的硬玉含量温压计图解,得到了孟中榴辉岩的平衡温压和退化

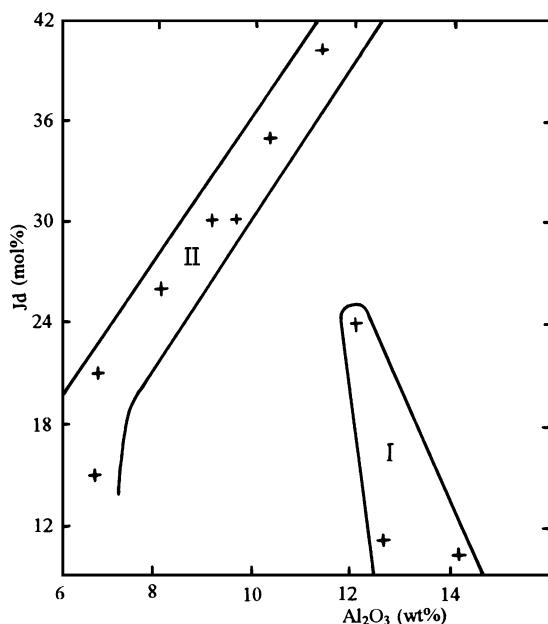


图 4 单斜辉石 Al_2O_3 (wt%) - Jd 图解

Fig. 4 Al_2O_3 (wt%) - Jd diagram for clinopyroxenes

其中 I 区为富铝单斜辉石; II 区为石榴子石出溶后形成的单斜辉石

变质温压,分别为:平衡温压 $T= 85^{\circ}C$, $P= 1.77GPa$ 和 $T= 83^{\circ}C$, $P= 1.62GPa$;退变温压 $T= 61^{\circ}C$, $P= 1.33GPa$

3 多硅白云母形成压力的估算

孟中榴辉岩中含有少量多硅白云母,经电子探针(实验条件同上)测定的成分为: SiO_2 50.37, TiO_2 0.73, Al_2O_3 26.46, FeO 0.99, MnO 0.00, MgO 4.54, CaO 0.07, Na_2O 0.28, K_2O 12.36,总量 95.80 成分上主要构成白云母——绿磷石固溶体系列,绿磷石含量约 40mol%。

多硅白云母与蓝晶石共生,形成于母体富铝单斜辉石演化之后,而又与榴辉岩相主要矿物石榴子石和绿辉石同时或稍早,因此其形成温压介于两者之间。前已述及,富铝单斜辉石演化晚期阶段的最低温度为 $84^{\circ}C$ 左右,而榴辉岩中石榴子石——单斜辉石(绿辉石)矿物对最高温度为 $85^{\circ}C$ 左右,因此,可以假定多硅白云母的形成温度为 $84.5^{\circ}C$ 左右。根据 Massonne 和 Schreyer (1989)^[12] 提出的 t_{ks} -多硅白云母压力计 (t_{ks} 即滑石+蓝晶石+石英 柯石英),以石英为共生矿物,计算公式为: $Si = 2.146P - 0.0001904T + 3.025$, (P : MPa, T : $^{\circ}C$),计算得到压力为 $2.35GPa$ ($T= 84.5^{\circ}C$),该压力低于石英 柯石英的转变压力。

4 P-T 轨迹及其意义

以上估算结果,在图 5 中构成孟中榴辉岩形成演化的 P-T 轨迹。图 5 说明了孟中榴辉岩经历了 3 个演化阶段: (1) 早期地幔冷却和增压过程,可能发生在华北地块与扬子地块碰撞拼

合的同时,富铝单斜辉石出溶石榴子石并产生绿辉石,形成榴辉岩。(2)榴辉岩构造侵位过程表现在温度相对不变条件下压力的急剧下降。构造侵位可能发生在华北与扬子地块碰撞的弛豫阶段之后,地幔物质快速折返到高角闪岩相的片麻岩基底中。(3)定位后与区域性高级变质岩共同经历了整体抬升过程

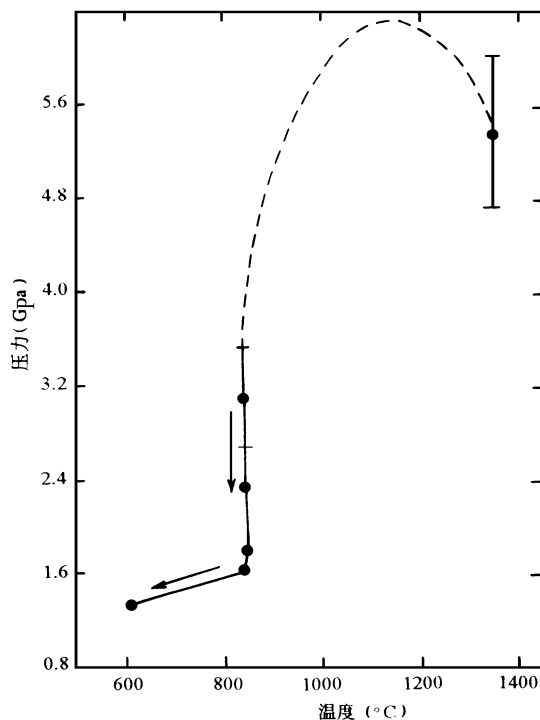


图 5 孟中榴辉岩 P-T 演化轨迹

Fig. 5 P-T path for Mengzhong eclogite

图中箭头表示演化方向

孟中榴辉岩中记录下来的 P-T 轨迹,与苏鲁地区区域性榴辉岩演化轨迹基本一致,说明孟中榴辉岩在苏鲁地区具有代表性

孟中榴辉岩 P-T 轨迹研究表明,富铝单斜辉石是榴辉岩的一种母体,地幔成因的富铝单斜辉石中出溶石榴子石过程是榴辉岩的一种成因过程。孟中榴辉岩具有异地构造侵位成因,说明了苏鲁地区至少部分榴辉岩不是原地变质成因。榴辉岩中主要组成矿物石榴子石和单斜辉石平衡在较低的温压条件下,处在高角闪岩相变质程度的上限,说明了原始产出的榴辉岩已经历了强烈的退化变质作用(主要是与区域性高级变质围岩的 $FeMg^{2+}$ 和 $CaMg^{2+}$ 置换可能达到了平衡)。因此,在榴辉岩形成时的温压和时代的确定等一系列问题上,都需要谨慎的考虑。

参 考 文 献

- 1 陈宣华,王小凤,陈正乐等,江苏孟中榴辉岩中单斜辉石向石榴石相转变的初步研究.地质力学学报,1995,1(2): 85- 89
- 2 Sautter V and Harte B. Diffusion gradients in an eclogite xenolith from the Roberts- Victor kimberlite pipe, & mechanism and evolution of garnet exsolution in Al_2O_3 -rich clinopyroxene, J. Petrol., 1988, 29 1325- 1352

- 3 Davis B T C and Boyd F R. The join $Mg_2Si_2O_7$ - $CaMgSi_2O_6$ at 30 kilobars pressure and its application to pyroxenes from kimberlites. *Jour. Geophysical Research*, 1966, 71: 3567- 3576.
- 4 Finnerty A A and Boyd F R. Thermobarometry for garnet peridotites: basis for the determination of thermal and compositional structure of the upper mantle. In: Nixon, P. H. (ed.), *Mantle Xenoliths*. Chichester: John Wiley, 1987, 381- 412.
- 5 Nickel K G and Green D H. Empirical geothermobarometry for garnet peridotites and implications for the nature of the lithosphere, kimberlites and diamonds. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 1985, 73: 158- 70.
- 6 Carswell D A and Gibb F G F. Garnet lherzolite xenoliths in the kimberlites of northern Lesotho: revised P- T equilibration conditions and upper mantle paleogeotherm. *Ibid.*, 1987, 97: 473- 487.
- 7 Bertrand P, Sorin C, Mercier J C C and Takehashi E. From the Simplest chemical system to the natural one: garnet peridotite barometry. *Contr. Miner. Petrol.*, 1986, 93: 168- 178.
- 8 In'fune T, Ringwood A E and Hibberson W O. The eclogite-garnetite transformations at high pressure and some geophysical implications. *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 1986, 77: 245- 256.
- 9 Liu L. The pyroxene-garnet transformation and its implication for the 200km seismic discontinuity. *Phys. Earth Planet. Inter.*, 1980, 23: 286- 291.
- 10 Krogh E J. The garnet-clinopyroxene Fe- Mg geothermometer- α reinterpretation of existing experimental data. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1988, 99: 44- 48.
- 11 Holland T J B. The reaction $Albite = Jadeite + Quartz$ determined experimentally in the range 600- 1200°C. *Am. Mineral.*, 1980, 6: 129- 134.
- 12 Massonne H J and Schreyer W. Stability field of the high-pressure assemblage talc + phengite and two new phengite barometers. *Eur. J. Mineral.*, 1989, 1: 391- 410.

THE P- T PATH OF FORMATION AND EVOLUTION OF MENGZHONG ECLOGITE, DONGHAI, JIANGSU

Chen Xuanhua Wang Xiaofeng Chen Zhengle Zhang Qing
(*Institute of Geomechanics, CAGS*)

Abstract The exsolution of garnet out of Al_2O_3 -rich clinopyroxene in the Mengzhong eclogite in Donghai, Jiangsu Province is studied. By an estimate of the pressure and temperature at which the mineral assemblages have developed during the various stages using geothermobarometry, the P- T path is reconstructed for the formation and evolution of the eclogite. The result shows that it has undergone three stages of evolution: (1) The formation of eclogite at mantle condition through the exsolution of garnet out of Al_2O_3 -rich clinopyroxene due to the possible increasing of pressure and decreasing of temperature; (2) Tectonic emplacement of eclogite into the high amphibolite facies gneiss basement; (3) Retrograde metamorphism together with country rocks after the emplacement.

Key words eclogite, P- T path

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,主要从事岩矿方面的研究。通讯地址:北京海淀区民族学院南路11号地质力学研究所。邮政编码:100081