

榴辉岩的熔融实验及其地质意义†

韩宗珠

(青岛海洋大学地质系, 266003)

谢鸿森

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳, 550002)

刘振云 盛兴土

(湖南省矿产测试利用研究所, 长沙, 410000)

收稿日期 1989年11月17日

关键词 榴辉岩, 熔融实验, 环太平洋安山岩线(组合)

提要 在25kb, 1300—1400°C条件下对榴辉岩进行的24次熔融实验研究表明, 在25kb时榴辉岩的起始熔融温度为1300°C±, 从初熔到完全熔融所需的温度间隔小于100°C; 随着熔融程度的增高, 熔体中SiO₂, TiO₂, K₂O含量显著降低, Al₂O₃含量略有降低, FeO* (全铁), MgO, CaO含量明显增加。当熔融

† 本次工作是在中国科学院地球化学研究所完成; 工作中得到袁柴林研究员和唐春景副研究员的指导和帮助, 谨此致谢。

程度小于 5% 时,熔体成分相当于流纹岩;当熔融程度为 10—50% 时,熔体成分相当于英安岩-安山岩;当熔融程度大于 50% 时,熔体成分相当于安山玄武岩-玄武岩。推测环太平洋安山岩线的成因及大陆内部安山岩-玄武岩的形成与地幔榴辉岩的熔融有关。

I. 榴辉岩的高温高压熔融实验条件

实验是在中国科学院地球化学研究所 YJ-3 000T 紧装式压力机六面顶高压装置上进行。实验温度可达 1 800°C, 最高压力可达 100kb。

I.1. 样品来源

榴辉岩实验样品取自安徽大别山地区的碧溪岭榴辉岩-石榴石橄榄岩伴生岩体。岩体呈不规则椭圆状,面积约 0.7km²,以榴辉岩为主体,石榴石橄榄岩呈条带状或透镜状分布于榴辉岩中,两者之间界限清晰。榴辉岩熔融实验样品为其中的一块新鲜岩石,其矿物组成和体积百分含量为:石榴石(43%)、绿辉石(45%)、石英(11%)、金红石(1%)和蓝晶石(微量)等,其岩石化学成分列入表 1。经岩石学和地球化学研究表明,碧溪岭榴辉岩-石榴石橄榄岩伴生岩体来源于壳幔边界层(莫霍面)附近,由基性岩和超基性岩发生深成变质作用形成^[1,2,3]。

I.2. 样品制备和组装

样品在铁钵电动磨样机上研磨 5min, 粒度均在 200 目以下,重量约为 100g,然后将样品放入马富炉中,在 200°C 条件下烘烤 24h, 去掉吸附水,转入干燥塔中,待用。

样品组装按图 1 所示(横截面)。

I.3. 温度测量

高压腔内的温度是由大电流通过组装在样品室外的加热器(石墨管)获得,其加热电流可达 2 000A,可在几分钟内达到额定温度。采用 Pt-RhPt 热电偶在高压下直接测量样品室内的温度。在一般情况下,可用温度-电功率换算曲线来估算样品室内的温度,图 2 为我们在图 1 所示装置下测得的温度-电功率换算曲线。

I.4. 压力标定

样品室内的压力采用石英-柯石英相变和铜的熔融曲线两种方法进行标定。使用的石

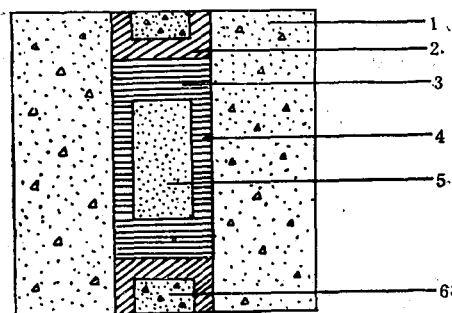


图 1 榴辉岩熔融实验样品组装示意

Fig.1 The diagram of formation of melting experiment

1. 叶腊石垫圈; 2. 不锈钢垫圈; 3. 石墨垫圈;
4. 石墨管; 5. 实验样品; 6. 叶腊石填料

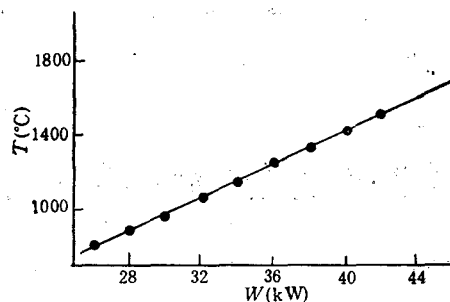


图 2 温度电功率换算曲线

Fig. 2 Conversion curve of temperature-electron power

英-柯石英相变方程为:

$$P(\text{kb}) = 21.80 + 1.12 \times 10^{-2} T(^{\circ}\text{C})$$

式中, P 代表样品室内的压力, T 为温度。可以看出, 当温度误差为 10°C, 其标定的压力误差为 0.1kb, 因此, 使用上述方法标定的样品室内压力误差可在 0.1kb 之内。当压力机的油缸负荷压力为 350kg/cm² 时, 加热到 1 200°C, 石英转变为柯石英, 计算其样品室内的压力为 35.24kb; 而当温度高于 1 200°C 时, 则石英不再转变为柯石英。

$$\text{根据公式 } P(\text{kb}) = 0.28T(^{\circ}\text{C}) - 305.25^{[7]}$$

对不同油缸负荷压力进行了系统的标定^[1],对测得的数据用最小二乘法拟合出油缸负荷压力 P_2 与样品室内压力 P_1 的关系式为:

$$P_1(\text{kb}) = 0.15 + 0.1P_2(\text{kg/cm}^2)$$

$$r = 0.999$$

r 为相关系数。上述两种方法标定的样品室内的压力非常一致,其差别小于 0.64kb。

II. 榴辉岩的熔融实验及结果

我们采用图 1 所示的装置,在压力固定为 25kb 条件下,对榴辉岩样品进行了 24 次实验,加热温度从 800°C 到 1600°C,当加热温度低于 1300°C 时,实验样品发生重结晶反应形成石榴石和单斜辉石,但尚未熔融;当加热温度为 1300°C 左右时,榴辉岩实验样品开始初熔,至 1400°C 时全部熔融,即固相线与液相线之间的温度间隔小于 100°C,接近于共结-低熔组成。我们选取熔融程度(即熔融体的体积百分含量,通过切片观察得知)分别为 1%, 5%, 50% 和 90% 的 4 个样品作了电子探针分析,其分析结果列入表 1。

从熔融程度与熔体中各元素含量的相关性曲线(图 3)中可以看出,随着榴辉岩部分熔融程度的增大,熔融体(玻璃)中的 SiO_2 , TiO_2 和 K_2O 含量显著降低, FeO^* (全铁,下同), MgO

表 1 榴辉岩熔体的电子探针分析结果

Tab. 1 Electronprobe analysis of the fused mass from eclogite

样品号	E _c -3	E _c -14	E _c -29	E _c -31	yx _b -33**
熔融度	1%	5%	50%	90%	实验样品
SiO_2	67.27	64.80	53.25	49.03	47.69
TiO_2	1.82	1.67	0.49	0.31	0.43
Al_2O_3	20.63	19.44	20.04	18.01	18.03
FeO^*	2.72	4.12	6.04	7.10	7.13
MnO	0.45	0.10	0.16	0.16	0.19
MgO	2.65	4.24	8.16	9.81	10.82
CaO	2.21	3.81	7.03	11.14	12.08
Na_2O	2.41	2.50	2.48	2.77	3.01
K_2O	0.53	0.38	0.09	0.00	0.16
总量	100.70	101.05	98.73	98.33	99.63

注:“*”为全铁含量;“**”为湿法化学分析结果。

和 CaO 含量明显增加。 Si , Ti , K 都是强不相容元素,在初始熔融相中富集,而 Fe , Mg , Ca 为相容元素,在残留相(固相)中富集。将熔融体的化学成分(表 1 和图 3)同我国岩浆岩平均化学组成^[5]相对比可以看出,当榴辉岩的熔融程度小于 5% 时,熔体成分相当于流纹岩;当熔融程度为 10—50% 时,熔体成分相当于英安岩-安山岩;当熔融程度大于 50% 时,熔体成分相当于安山质玄武岩-玄武岩。从榴辉岩的高温高压熔融实验研究结果来看,榴辉岩的不同程度的部分熔融可以形成一套不同成分的岩浆(熔体)。

III. 环太平洋安山岩线(组合)的成因讨论

环太平洋安山岩线(组合)以大量发育安山岩为特征,但不同程度地伴随有玄武岩、流纹岩等火山岩和相应的火山碎屑岩。

近代的安山岩火山活动沿岛弧状的火山链,主要分布于环太平洋边缘和其它海洋的边缘地区。火山链构成的岛弧,如阿留申、千岛、加勒比海;或发育于大陆边缘,如安第斯山脉;或覆盖于象日本、印度尼西亚、新西兰北岛等比大陆小,但具有大陆岩石圈结构的岛屿。板块构造研究认为,现代的安山岩组合绝大多数分布于中至深层 (>75 km) 的震中分布附近,位

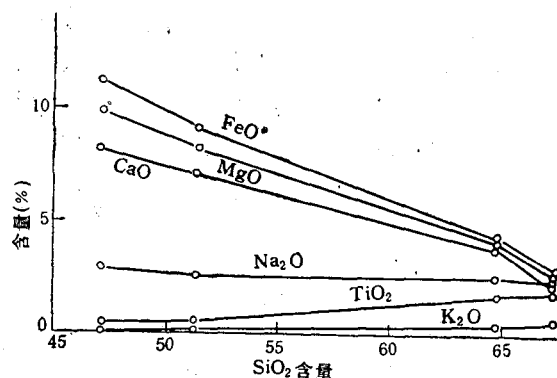


图 3 榴辉岩熔融程度与熔体中各元素相关性图解

Fig. 3 Relationship diagram of melting extent of eclogite with each oxide content in fused mass

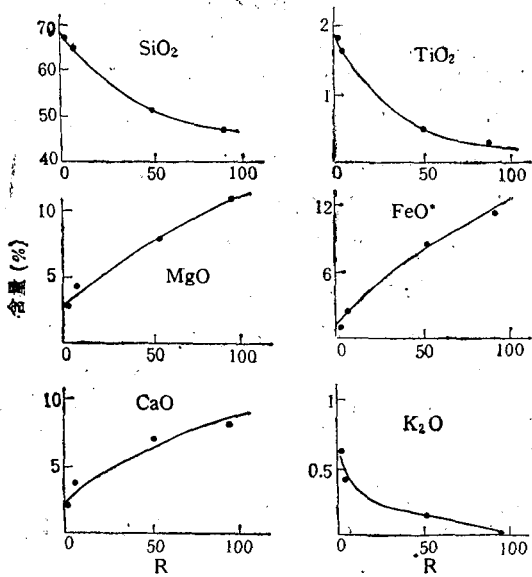


图4 熔体中 SiO₂ 与各元素相关性图解

Fig. 4 Relationship of SiO₂ and other elements in fused mass

于消减带之上。

安山岩组合的岩石,随 SiO₂ 含量的增高, Fe₂O₃ + FeO, MgO, CaO 含量降低, Na₂O, K₂O, TiO₂ 含量增高,这与本次熔融实验的结果(图4)十分一致。

我们对榴辉岩的熔融实验研究可以推测,在板块俯冲带(贝尼奥夫带),大洋岩石圈板块沿消减带向大陆岩石圈板块俯冲,玄武岩及辉长岩质洋壳由于温压的升高,转变为角闪岩,随着俯冲深度的加大,温度压力的增高,角闪岩转变为榴辉岩。在相变过程中由于水的释放,摩擦产生的局部温度的升高,使榴辉岩发生部分熔融^[6],形成安山岩组合的岩浆(流纹质-玄武质),岩浆上升与地幔发生反应或直接喷出地

表,形成环太平洋大陆边缘或岛弧链的安山岩线(组合)。

我们同时还可以推测,在大陆内部的安山岩-玄武岩的形成也与地幔榴辉岩的部分或完全熔融有关。地幔是由橄榄岩和夹杂在其中的榴辉岩块体组成^[8],而现在普遍认为板块内部的安山岩、玄武岩的成因与地幔橄榄岩的部分熔融有关。实验研究^[4]表明,橄榄岩的初始熔融温度比榴辉岩高,即在橄榄岩初熔时,榴辉早已完全熔融,况且橄榄岩的初始熔融温度要在 1600°C (地幔条件下,压力大于 20kb),这样的温度即使是高热流值(地热梯度大)区也很难达到,所以可以认为大陆内部玄武岩和安山岩的形成与地幔榴辉岩的部分或完全熔融有关,当然不能完全排除地幔橄榄岩部分熔融的可能性。

参考文献

- [1] 韩宗珠、袁燊林、盛兴士, 1989. 安徽岳西碧溪岭榴辉岩及伴生石榴石橄榄岩的岩石学和地球化学。岩石学报 4: 1-12。
- [2] 韩宗珠, 1989. 大别山地区石榴石橄榄岩的岩石学和地球化学。青岛海洋大学学报 4: 62-72。
- [3] 韩宗珠、袁燊林、盛兴士、倪帮发, 1989. 大别山混杂岩中的石榴石。海洋湖沼通报 4: 41-47。
- [4] 谢鸿森等, 1986. 地球深部物质的实验研究。地质地球化学 11: 34-39。
- [5] 黎彤、饶纪龙, 1976. 化学元素的地球化学丰度。地球化学 3: 167-174。
- [6] P. J. 威利著,朱夏等译, 1977. 地球动力学,地质出版社, 56-81。
- [7] Akella, J. and Kennedy, G.C., 1971. Melting of gold, silver and copper proposal for a new high-pressure calibration scale. *J. Geophys. Res.* 76: 4969-4977.
- [8] Ringwood, A. E., 1975. Composition and Petrology of the Earth's Mantle. Mc Graw-Hill ed., New York, p.618.

MELTING EXPERIMENT OF ECLOGITE AND THEIR GEOLOGICAL SIGNIFICANCE

Han Zongzhu

(Department of Marine Geology, Ocean University of Qingdao, 266003)

Xie Hongsen

(Institute of Geochemistry, Academia Sinica Guiyang, 550002)

Liu Zhenyun and Sheng Xingtuo

(Hunan Institute of Test and Utilization of Mineral Resources, Changsha, 410000)

Received: Nov. 17, 1989

Key Words: Eclogite, Melting experiment, Esite line around the pacific ocean

Abstract

Study of 24 sequence melting experiments for eclogite at 25kb, 1300-1400°C, indicate that melting of eclogite starts at 1300°C under 25kb. The temperature interval is less than 100°C from partial melting to complete melting. With the raising of melting extent, the content of SiO₂, TiO₂ and K₂O distinctly decrease, while FeO*, MgO and CaO notably increase. When melting extent is less than 5%, the fused mass component is well-matched with andesitic basalt or basalt. We inferred that the formation of andesite line (composition) around the Pacific Ocean and andesite basalt on the continent have relationship with the melting of eclogite.