

岩石部分熔融过程中熔体连通性的实验研究 ——以 850 ~ 1100℃, 2.0 ~ 4.0 GPa 条件下 斜长角闪岩部分熔融为例

郑小刚, 李和平, 周文戈

中国科学院 地球化学研究所, 贵阳 550002

关键词: 二面角; 界面能; 熔体分离; 脱水熔融; 连通性

岩石脱水熔融是地壳深熔的主要机制, 部分熔融形成的熔体经过分凝、运移、聚集和侵位等过程最终形成岩浆。熔体的连通是熔体聚集和迁移的必要条件, 岩石的物理性质, 比如弹性、电性等明显受到熔体连通性的制约。因此, 研究熔体分布对于理解深部地质作用, 合理解释地球物理资料具有特殊的意义, 熔体的连通性研究已经备受地质学家的关注。

Waff 等^[1]在静水压力下, 对铁镁质(超碱性)部分熔融体系熔体的结构分布进行了大量的实验研究。这些研究结果显示了玄武质熔体润湿了橄榄石的晶体边界, 形成一个连通的通道^[1]。Jurewicz 等人^[2]在 1250℃, 8 kbar 静水压下, 研究了石英-钠长石体系熔体分布情况, 认为在长英质体系中, 表面能在熔体的连通性上起着重要的作用。熔体相与矿物相接触时, 根据表面现象, 表面能和二面角存在一定的平衡关系式, 熔体的空间分布通常与它所处的物理、化学条件紧密相关。周文戈(1994)^[3]提出通过测量一定数量的三相界面接触角(二面角)来定性判定矿物空间分布稳定性的方法。因此, 二面角的分布情况与熔体的连通性之间存在着必然的联系。

我们对天然的块状斜长角闪岩进行了高温高压下岩石部分熔融实验。实验在中国科学院地球化学研究所地球深部物质实验室 YJ-3000t 六面顶静态超高压装置上完成。样品切成直径为 6.0mm ±, 高 6.0mm ± 的圆柱体。样品的组装与朱卫国等采用的方法类似^[4]。实验采用先加压, 后加温到目标温度, 恒温 12 ~ 150 h。实验的压力为 2.0 ~ 4.0 GPa, 温度为 850 ~ 1100℃, 不同温压下做 9 个实验。对实验产物进行了电子探针分析, 测量了熔体

与矿物相所形成的二面角。研究了二面角与熔体连通性之间的关系, 以及影响二面角分布的因素。对比前人的实验结果, 本次实验主要得出以下结论:

(1) 二面角小于 60°时, 熔体润湿了矿物相边界, 形成一个相互连通的通道; 二面角大于 60°时, 熔体被矿物边角隔离开来。根据杨氏方程:

$$2\cos(\theta/2) = \gamma_{ss}/\gamma_{sl} \quad (1)$$

和表面吉布斯函数:

$$G(\text{表面}) = \gamma\xi \quad (2)$$

可以推导出

$$d_{T,p,\xi,\gamma_{ss}}G(\text{表面}) = \xi \frac{\sin(\theta/2)\gamma_{ss}}{4\cos^2(\theta/2)}d\theta \quad (3)$$

在一定的温压条件下, 随着体系表面吉布斯自由能的减小, 二面角也跟着减小。界面能的最小化, 总是调整着熔体空间结构的改变。当熔体润湿了矿物的晶面时, 熔体就有可能在矿物相间形成一个连通的网络, 从而实现熔体的分离。表面张力和界面能的最小化是推动熔体连通的两个驱动力。

(2) 和前人的实验结果比较发现, 同一固相矿物与不同熔体接触时, 二面角的平均值和中间值都变化很小; 不同固相矿物与同一熔体接触时, 二面角的平均值和中间值都存在很大的差别。如同一固相矿物与不同熔体接触时, 斜长石的二面角平均值在 25.8° ~ 27.6°; 单斜辉石的二面角平均值在 38.1° ~ 38.7°; 橄榄石的二面角平均值在 28.5° ~ 33.8°; 石英的二面角平均值在 19.0° ~ 20.7°。我们的实验结果显示, 熔体相与石榴石接触时的二面角分布在 56° ~ 58°, 与辉石接触时二面角分布在 50° ~ 53°。我们推测矿物的晶体结构、晶体化学和晶体的各相异性决定了接触面的表面张力情况, 从而影响着二面角的分布情况。

(3) 在 2.0 GPa, 850 ~ 1000°C 条件下所测得的二面角, 随着温度的升高而减小。随着温度的升高, 熔体成分由酸性变成基性, 粘度减小, 使得分子间的距离增加, 分子之间的相互作用减弱, 熔体的表面张力逐渐减小, 二面角也随之减小。因此, 温度的升高, 更容易使熔体形成一个连通体。实验中, 压力对二面角的影响不是那么明显, 一般认为压力升高至某一临界压力之前, 二面角基本不变或略有增加; 压力超过其临界值之后, 随压力升高, 二面角逐渐减小。这可能是增加压力, 增大了熔体的表面张力, 使得二面角略有增加。但当超过一临界值之后熔体的分布有可能因为晶格的挤压, 二面角反而开始减小。

参考文献:

- [1] Waff H S, Bulau J R. Equilibrium fluid distribution in an ultramafic partial melt under hydrostatic stress conditions[J]. *J Geophys Res*, 1979, 84: 6109 - 6114.
- [2] Jurewicz S R, Watson E B. Distribution of partial melt in a felsic system; the importance of surface energy[J]. *Contrib Mineral Petrol*, 1984, 85: 25 - 29.
- [3] 周文戈. 矿物三相界面接触角定量统计——一种定性判断矿物平衡的标志[J]. *地质科技情报*, 1994, 13(3): 44 - 47.
- [4] 朱卫国, 谢鸿森, 徐济安, 等. 1650°C、1 ~ 3 GPa 下玄武岩熔体结构的实验研究[J]. *科学通报*, 1998, 43(14): 1551 - 1556.