

月球岩浆洋深度的高温高压实验约束

翟宽 郭新转

中国科学院 地球化学研究所 地球内部物质高温高压实验室 贵阳 550081

月球样品的同位素证据 (Sossi et al., 2018; Wang and Jacobsen, 2016) 和高温高压实验结果 (Steenstra et al., 2020) 为月球初始状态以及早期演化提供了初步的认识。目前, 早期月球的熔融程度和岩浆洋的深度仍没有达成明确的共识, 月球岩浆洋的深度可能为 500-600 km, 也可能为 1300 km。氢同位素证据表明月球岩浆洋初始阶段含水 (Hui et al., 2017), 若岩浆洋中含有 500 ppm 水, 月球岩浆洋深度约为 400 km, 若水的含量增加到 1800 ppm, 岩浆洋的深度也将增加到 1000 km (Lin et al., 2016)。因此, 岩浆洋中的水对早期月球的演化具有重要意义。

亲铁元素常用来制约行星的核幔分异过程。岩浆洋中的 H_2O 与液态铁合金的氧化反应能有效增加金属-硅酸盐体系的氧逸度 (Clesi et al., 2016), 降低亲铁元素的分配系数。Ni 和 Co 是重要的亲铁元素, 也是月核重要的组成成分, 其在金属-硅酸盐体系间的分配系数影响月核的成分。我们在月球的温压条件下进行了含水条件下亲铁元素 Ni 和 Co 在金属和硅酸盐间的分配实验, 系统地研究了 Ni 和 Co 的分配系数与温度, 压力, 氧逸度, 水含量的关系, 建立了含水条件下的 Ni 和 Co 的分配模型。我们利用新的分配模型得到了以下结论: (1) 在满足月核中轻元素以及月幔 Ni 和 Co 丰度限制的条件, 含水的岩浆洋发生核幔分异时温度为 2400 ± 400 K; (2) 若岩浆洋中含有 300 ppm H_2O , 早期月球可能存在 1100 ± 100 km 的深岩浆洋。

参考文献

Clesi, V., et al., Effect of H_2O on metal-silicate partitioning of Ni, Co, V, Cr, Mn and Fe: Implications for the oxidation state of the Earth and Mars. *Geochim. Cosmochim. Acta* 2016, 192: 97 - 121.

Hui, H., et al., A heterogeneous lunar interior for hydrogen isotopes as revealed by the lunar highlands sample. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2017, 473: 14 - 23.

Lin, Y., et al., Evidence for an early wet Moon from experimental crystallization of the lunar magma ocean. *Nat. Geosci.* 2016, 10:10 - 14.

Sossi, P.A., et al., Volatile loss following cooling and accretion of the Moon revealed by chromium isotopes. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 2018.115: 201809060.

Steenstra, E.S. et al., A possible high-temperature origin of the Moon and its geochemical consequences. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2020.538:116222.

Wang, K., Jacobsen, S.B., Potassium isotopic evidence for a high-energy giant impact origin of the Moon. *Nature* 2016.538, 487 - 490.