

· 专题 19: 月球的形成和演化——基于嫦娥工程的新认识 ·

月球高 $Mg^{\#}$ 和高 $Fe^{\#}$ 斜长岩成因

朱丹, 张明明, 许英奎

中国科学院 地球化学研究所, 矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳 550002

目前普遍接受的月浆洋结晶形成斜长岩月壳的标准模型是: 月浆洋早期结晶橄榄石、斜方辉石、单斜辉石和钛铁矿堆积构成月球的下地幔, 当月浆洋结晶到达~80%时, 斜长石开始成为液相线结晶矿物(Snyder *et al.*, 1992)。后期结晶的斜长石和单斜辉石堆积构成月球上地幔, 克里普岩石是月浆洋最后阶段形成的(Shearer and Papike, 1999)。不过随着月球陨石样品分析数据和观察事实的不断积累, 月壳形成的标准模型不断受到挑战(Pernet-Fisher and Joy, 2016; Shearer *et al.*, 2015), 比如成分单一的月壳斜长石成分(Xu *et al.*, 2016), 共生的高 $Mg^{\#}$ 和高 $Fe^{\#}$ 斜长岩(Gross *et al.*, 2014)。这些事实是标准模型不能解释的(Xu *et al.*, 2016)。

月球这类小“行星”, 由于质量和重力场小, 不能保持大气, 月浆洋的表面温度主要由太阳和地球的光照决定(Arпита *et al.*, 2014), 因此月浆洋顶部固化是月球冷却固化的一种重要方式, 并且存在温度梯度的效应(Xu *et al.*, 2016)。在这个假设前提下, 我们认为月球高 $Mg^{\#}$ 和高 $Fe^{\#}$ 斜长岩成因: 月浆洋表面快速形成淬火冷却层, 向下为依次为部分结晶区, 全部熔体区。由于温度梯度导致熔体成分分异

(Walker and Delong, 1982) 和基性玄武岩 MgO 与温度正相关关系(Chen and Zhang, 2008; Niu *et al.*, 2002), 部分结晶区从下到上, 形成从高 $Mg^{\#}$ 到低 $Mg^{\#}$ (高 $Fe^{\#}$) 的连续熔体。因此, 从这些熔体结晶岩石的 $Mg^{\#}$ 有连续的变化, 并且形成的斜长石 An 牌号高, 且成分变化不大(Xu *et al.*, 2016)。

温度梯度下硅酸盐熔体发生成分(Walker and Delong, 1982) 和同位素(Richter *et al.*, 1999) 的分异, 一直只是实验上证明, 这个效应是否会作用在岩浆演化过程, 一直存在争议, 至今没有发现一个被证实的实例。其中一个重要的原因就是: 在岩体或者岩浆的边部和内部, 温度梯度持续时间很短, 而发生质量扩散需要的时间很长(热扩散比质量扩散大至少3个数量级)。因此在地球上的岩浆演化过程中, 温度梯度作用的地球化学效果不会很大。从岩浆洋固化的顶部到内部, 温度梯度可以持续几十甚至几百百万年。因此斜长岩月壳形成过程中, 元素和同位素在温度梯度下的效应都会有所体现。

星子(planetesimal)冷却结晶的初始阶段, 也存在一个初始的固化壳(Sanders and Scott, 2012), 因此, 温度梯度效应在球粒陨石中也应该有所体现。

第一作者简介: 朱丹(1970-), 男, 研究员, 研究方向: 地球化学动力学和行星科学. E-mail: zhudan5269@163.com.