

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.825>



# 岩浆海的演化对宜居星球的形成有何意义?

孙卫东<sup>1,2</sup>, 商修齐<sup>1,2</sup>

1. 中国科学院海洋研究所, 深海中心, 山东青岛 266071

2. 崂山实验室, 深海多学科交叉研究中心, 山东青岛 266237

地球形成过程中, 星云凝聚累积了大量的热, 加上短半衰期放射性元素衰变释放出的能量, 使几乎整个地球呈现熔融状态, 被称为岩浆海. 岩浆海的形成导致地球内部的挥发分大量释放, 形成了浓密的原始大气, 而其演化则导致了核幔分异、原始大气及原始海洋的形成. 岩浆海结晶分异导致地幔反转, 形成了巨厚的克拉通地幔, 促进了原始大陆的形成. 同时, 原始大气与硅酸盐的反应, 可能对生命起源产生了重要的影响. 总之, 岩浆海演化是宜居地球形成的第一步.

## 1 岩浆演化对碳循环的影响

岩浆海促进了地核的形成及核幔分异. 在岩浆海中, 硅酸盐和金属乃至单质碳均处于熔融状态. 由于金属的密度远高于硅酸盐, 在重力的驱动下, 金属向地心运移, 形成地核; 硅酸盐组分留在岩浆海中; 挥发分则被排放到大气中. 在岩浆海条件下, 碳酸盐不稳定, 分解为金属氧化物和二氧化碳. 二氧化碳大量进入大气中. 前人根据金星和火星的大气成分估计, 原始地球大气中至少有 110 个大气压的二氧化碳. 这种估计有一个潜在的假设, 即金星和火星现今的大气二氧化碳含量跟其形成之初基本一致. 考虑到大气逸散和水的影响, 火星和金星

原始大气究竟有多少二氧化碳还需要进一步研究. 但是有一点可以肯定, 金星、火星原始大气的二氧化碳含量应该高于现今值. 另外, 虽然水、金、地、火四个类地行星均形成于地球雪线以内, 并不意味着他们所含挥发分一致. 所以, 地球原始大气中的二氧化碳含量尚不能确定. 有一点可以肯定, 110 个大气压是其下限. 主要科学问题是, 在星云中碳酸盐所占的比例是多少? 如此多的大气二氧化碳究竟去哪里了? 大气二氧化碳与硅酸盐地球相互作用对宜居地球的形成起到何种作用? 在板块构造出现之前, 地球内部与外部的碳交换如何实现?

除了碳酸盐, 岩浆海中还应存在大量的金刚石石墨等单质碳和碳化铁等碳化物. 金刚石是所有矿物中最先结晶的矿物, 在岩浆海冷凝过程中, 金刚石首先结晶. 在上地幔, 金刚石的密度大于岩浆海的主要成分橄榄岩熔体, 在下地幔则正好相反. 因此在岩浆海冷凝过程中, 金刚石优先聚焦在上下地幔边界. 由于二价铁在下地幔的高压环境下会发生歧化反应, 形成金属铁和三价铁, 其中金属铁大量进入地幔, 而三价铁则主要赋存于布里奇曼石中. 在后续的地幔对流、板块俯冲等过程中, 这些布里奇曼石可以由下地幔进入上地幔. 由于布里奇曼石在上地幔不稳定, 一旦进入上地幔就发生分解, 释放出三价铁, 可以将堆积在下地幔底部的金刚石氧

作者简介: 孙卫东 (1966—), 男, 博士, 研究员. 长期从事海洋地质研究, 重点研究板块俯冲、太平洋板块重建等领域. E-mail: weidongsun@qdio. ac. cn

引用格式: 孙卫东, 商修齐, 2022. 岩浆海的演化对宜居星球的形成有何意义? 地球科学, 47(10): 3823—3824.

Citation: Sun Weidong, Shang Xiuqi, 2022. How did the Magma Ocean Contribute to the Formation of the Habitable Earth? *Earth Science*, 47(10): 3823—3824.

化为二氧化碳,从而在上下地幔边界形成富碳层(Sun *et al.*, 2018).问题是,这个富碳层对碳循环有什么影响?如何证明这个富碳层的存在?

## 2 地幔反转与早期大陆形成

热力学和地球动力学模拟表明,体积较小的星球的早期绝热线与早期岩浆的液相线在地幔底部,因此岩浆海表面固化的同时,还存在从下向上的固化.下部地幔首先结晶分离出富镁、钙的硅酸盐矿物,使剩余岩浆向富铁的方向演化.岩浆海演化后期,在上部结晶形成密度大的富铁岩浆堆晶,造成重力不稳定而发生地幔翻转.地幔翻转伴随大规模的地幔高温物质上涌,发生大比例部分熔融,导致了强烈的岩浆活动,形成巨厚的克拉通岩石圈地幔,是原始地壳增长的关键.

与其他类地行星及月球不同,地球上存在有水.在有水的情况下,橄榄石结晶远早于斜长石,岩浆中

铁的富集不明显,地幔反转是否还会发生?抑或地幔反转是发生在地球获得水之前还是之后?水的存在对于早期大陆形成有何影响?这些问题直接影响到对早期大陆地球形成演化的认识.

## 3 发展方向

岩浆海演化是宜居星球形成的第一步,其中的关键在于岩浆海演化对碳循环和克拉通形成的影响和控制.早期地球大气中二氧化碳的归宿、原始大气与岩浆海相互作用的产物等是研究的重要方向.

### 参考文献

- Sun, W. D., Hawkesworth, C. J., Yao, C., et al., 2018. Carbonated Mantle Domains at the Base of the Earth's Transition Zone. *Chemical Geology*, 478: 69–75. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2017.08.001>