

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.867>



# 洋中脊深部碳是如何循环的?

李家彪, 丁巍伟

自然资源部第二海洋研究所, 浙江杭州 310012

地球的碳循环铸就了生机勃勃的宜居地球(朱日祥等, 2021). 长期以来, 关于碳循环的研究主要集中在地球表层系统, 尤其是海洋(汪品先等, 2018). 然而仅考虑表层系统的碳循环并不能解释地表碳总量变化. 全球的洋中脊系统通过火山喷发、基岩风化、热液活动、冷水循环等地质过程, 每年可向海洋释放包括  $\text{CO}_2$  在内的大量挥发分物质, 可随洋流输送至距离喷口几千千米以外. 这些释放的物质供给了丰富的海底微生物系统和相应高级别生态系统, 组成珍贵而独特的生物群落, 并通过生物化学反应能将无机碳固定为有机碳(如 Nakamura and Takai, 2014). 因此, 洋中脊深部碳循环可以影响全球海洋物质循环、生态系统以及全球气候变化, 在地表(包括海洋)碳组成和宜居地球塑造过程中起到了重要的作用. 然而相对于地表过程, 国际上对深部碳循环以及碳在洋中脊海底岩石圈与外部圈层的交换规律的认识还远远不足, 包括洋中脊深部的碳如何在岩石圈—水圈—生物圈之间循环? 通量如何厘定? 均是地球系统科学背景下全球碳循环研究的难点问题.

## 1 核心思想

全球洋中脊总长度可达 65 000 km, 作为大洋岩石圈增生模式的端元, 不同扩张速率的洋中脊具有不同的构造与岩浆作用. 以往研究表明, 不仅仅是岩浆活动活跃的快速扩张洋中脊, 慢速—超慢速扩张的洋中脊并非只是大面积的蛇纹石化橄榄岩的

出露, 同时也广泛发育富含挥发分( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ )的火山活动, 以及相应的海底热液系统和相应生物群落. 火山和热液系统向海底释放大量的碳的同时, 海底热液系统的生物化学过程可以固定碳, 海底出露的基性岩石的风化作用, 以及通过断层/裂隙等进入地壳内部的低温水循环也可以消耗碳(图 1). 回答洋中脊岩石圈对外释放的碳通量和周期性, 以及深部碳循环的机制等科学问题的核心, 是厘清不同类型的洋中脊洋壳结构变化、物质组成、断层分布特征及相应的构造—岩浆相互作用的活动规律与时空特征.

相关的研究不仅需要开展大范围多尺度综合地球物理分析, 对不同扩张速率洋中脊的典型洋段探明海底流体溢出口的特征及分布, 获得浅表流体渗漏构造结构、分布特征, 以及地下深部结构及流体运移通道, 揭示深部结构与浅部地质环境的耦合关系; 同时还要通过 ROV、AUV 深潜采集、现场原位观测等方式获取各类生物、环境、水体等样品, 获得“点”式沉积环境与水环境的碳物质通量. 通过点面结合, 揭示岩浆与流体活动的地质过程和不同周期碳源—碳汇, 探讨以海底岩浆与流体活动为载体的深部—浅部物质输送体系在洋中脊深部碳循环系统的控制作用, 建立规律性认识.

## 2 科学价值

大洋中脊的海底岩浆与流体活动是研究地球深部物质循环的重要纽带, 也是深入理解板块构造

基金项目: 国家自然科学基金项目(Nos. 41890811, 42025601).

作者简介: 李家彪(1961—), 男, 研究员, 博士生导师, 中国工程院院士, 主要从事大陆边缘及洋中脊深部构造、成矿与动力学研究.  
E-mail: jbli@sio.org.cn

引用格式: 李家彪, 丁巍伟, 2022. 洋中脊深部碳是如何循环的? 地球科学, 47(10): 3924—3925.

Citation: Li Jiabiao, Ding Weiwei, 2022. How does Carbon Cycle in the Mid-Ocean Ridge Deep? *Earth Science*, 47(10): 3924—3925.

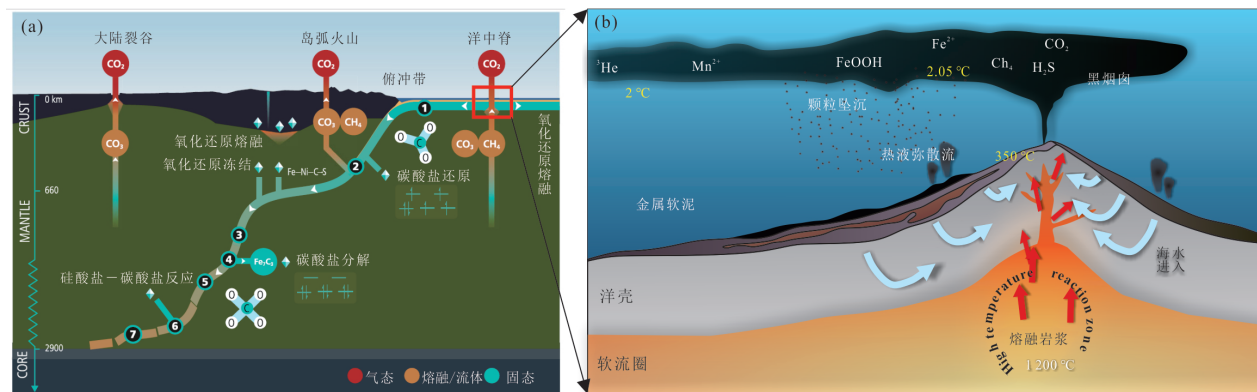


图 1 地球内部碳循环模式及相态变化(a)(修改自 Stagno *et al.*, 2019);洋中脊深部碳循环模式(b)

1. 方解石相,文石相; 2. 白云石相; 3. 文石-后文石相; 4. 白云石 III 相; 5. 含铁碳酸盐相; 6. 后文石相-含 SP3 混合碳酸盐相; 7. 菱镁矿-菱镁矿 II 相

演化及其动力学机制的重要基础. 选定全球洋中脊典型代表(快速:东太平洋洋中脊;中速:西北印度洋洋中脊;慢速-超慢速:西南印度洋洋中脊, Gakkel 洋中脊),从海底深部过程为突破口,通过学科交叉与融合,开展以不同扩张速率典型洋中脊为代表的碳在多圈层循环过程及机制的研究,综合海洋地质学-生物海洋学-化学海洋学耦合分析和定量解析,涵盖海底深部碳汇格局、形成过程和调控机制、以及海洋碳汇的环境效应,有望突破原有研究的时空局限,增加对洋中脊海底岩石圈与水圈-生物圈界面的元素交换及其对碳循环和生态系统影响的认识,为人类应对快速变化下全球面临的重要危机提供科学数据和决策支持.

### 3 发展前景

自 20 世纪中叶以来,人类活动相关 CO<sub>2</sub> 排放增加导致的全球变暖正威胁着人类社会的生存和可持续发展,关于地球系统碳的循环机制研究已经成为一系列重大国际计划的核心内容. 联合国宣布 2021—2030 年为“联合国海洋科学促进可持续发展十年”(简称“海洋十年”),倡导各国联合推动国际大科学计划,以形成变革性的海洋科学解决方案,促进可持续发展. 包括自然资源部第二海洋研究所牵头的“多圈层动力过程及其环境响应的北极深部

观测(ADOMIC)”、厦门大学牵头的“海洋负排放(ONCE)”等和碳循环机制相关国际合作计划均已获得审批并开始运行. 地球最大的碳库是在地球内部的岩石圈,微小的变化即会引起地球表层碳循环的剧烈改变. 因此对于洋中脊深部碳循环机制的研究,不仅是了解地球深部-浅部物质和能量如何循环的重要窗口,也是我们应对气候变化、参与全球治理并发挥引领作用的重要抓手,具有广阔的发展前景.

### 参考文献

Nakamura, K., Takai, K., 2014. Theoretical Constraints of Physical and Chemical Properties of Hydrothermal Fluids on Variations in Chemolithotrophic Microbial Communities in Seafloor Hydrothermal Systems. *Progress in Earth and Planetary Science*, 1, 5. <https://doi-org.proxy.library.carleton.ca/10.1186/2197-4284-1-5>

Stagno, V., Cerantola, V., Aulbach, S., et al., 2019. Carbon-Bearing Phases Throughout Earth's Interior. *Deep Carbon*. Cambridge University Press, Cambridge: 66-88. <https://doi.org/10.1017/9781108677950.004>

汪品先, 田军, 黄恩清, 2018. 地球系统与演变. 北京: 科学出版社.

朱日祥, 侯增谦, 郭正堂, 等, 2021. 宜居地球的过去、现在与未来: 地球科学发展战略概要. *科学通报*, 66(35): 4485-4490.