

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.805>



# 岩浆如何链接地球深部过程与浅部系统?

郑建平<sup>1,2</sup>, 马强<sup>1,2</sup>, 苏玉平<sup>1</sup>, 陈明<sup>1</sup>, 平先权<sup>1</sup>, 戴宏坤<sup>2</sup>

1. 中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 湖北武汉 430078

地球内部运行机制和物质循环过程, 不仅控制着地球的圈层分异和相互作用, 而且制约着板块运动、地震活动、火山爆发、造山作用、成矿成藏以及环境气候生命系统的协同演变. 深入理解不同时期地球的深部物质过程, 对揭示其内部运行规律及地球宜居性演化具有重要意义. 板块构造启动、关键元素分布与循环、生物过程演化等都需要关注深地过程. 然而, 如何有效揭示地球深部物质组成、示踪其循环过程, 是地球科学面临的巨大挑战, 也是前沿和热点. 岩浆作用是深地过程的重要表现, 其相关产物是圈层间物质和能量传输的直接载体, 记录着类地行星的脉搏. 岩浆过程能影响浅部资源能源效应, 驱动表层系统的环境变迁和生命演化, 是连接深部过程与浅部效应的纽带.

## 1 核心思想

地球各圈层之间的物质循环和能量传输支撑了整个地球系统的运行, 寻找研究圈层相互作用的切入点是发展地球系统科学的关键抓手. 来自地球深部的岩浆自下而上迁移、就位于地球浅部或喷出地表, 是地球深部的物质与能量输送至浅部的主要途径.

地质学家通过岩浆岩研究揭示出地球深部具有复杂的岩性和地球化学组成. 甚至软流圈地幔的不均一性都远超以往的认识, 板内玄武岩的放射性同位素变化很大, 包含亏损地幔、HIMU、EM1、

EM2 和 FOZO 多个端元组分, 其中后四种地幔端元组分的形成与浅部物质的再循环有关 (Zindler and Hart, 1986; Hofmann, 2014). 但是, 不同端元组分的形成机制及其在深部地幔的空间分布特征等问题的认识仍然存在激烈的争议. 刚性岩石圈的深部物质组成与结构更为复杂. 传统上, 刚性岩石圈深部结构探测与研究主要依赖于地球物理技术, 深部物质及演变的探究相对薄弱. 岩浆岩及其携带的深源包体能提供岩石圈深部物质组成特征的信息 (Zheng *et al.*, 2008, 2015). 岩石圈深部物质结构与多手段探测相结合, 有望成为深地科学发展的突破口之一 (郑建平等, 2021).

尽管目前对岩浆过程的浅部效应已经有了一定程度的了解 (如 Langmuir and Broecker, 2012; Ma *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2016; Sun *et al.*, 2018), 但对岩浆过程影响挥发分循环、资源能源形成、表层环境等方面的认识还存在极大的不确定性, 甚至关于岩浆在大陆地壳内的行为等重要基础问题都尚未解决. 近年来, 高精度定年学数据揭示很多大岩体经历了多批次岩浆脉冲的累积增生 (Coleman *et al.*, 2016), 并非是单一岩浆房 (或“大水缸”, big tank) 冷却固结的结果, 这与地球物理探测不到壳内大规模岩浆房的观察相一致. 岩浆累积生长模式的发展冲击了传统的岩浆房模式 (Cashman *et al.*, 2017), 为认识地壳内岩浆过程提出了新的挑战与机遇. 岩浆过程中挥发分成为地球内部与表层之间物质循环研究的焦点之一, 是岩浆发挥地

作者简介: 郑建平 (1964—), 男, 教授, 主要研究深源岩石与岩石圈演化. E-mail: jpzheng@cug.edu.cn

引用格式: 郑建平, 马强, 苏玉平, 陈明, 平先权, 戴宏坤, 2022. 岩浆如何链接地球深部过程与浅部系统? 地球科学, 47(10): 3779–3780.

Citation: Zheng Jianping, Ma Qiang, Su Yuping, Chen Ming, Ping Xianquan, Dai Hongkun, 2022. How does the Magma Link the Earth Deep Process with the Shallow System? *Earth Science*, 47(10): 3779–3780.

球深部与浅部圈层桥梁的关键。但是,受分析技术的限制和岩浆脱气作用的影响,原始岩浆挥发分组成、地质历史时期岩浆活动释放挥发分的通量等问题仍是亟待解决的问题。另外,岩浆过程对关键金属矿产、地热能形成的控制作用成为各国竞相布局的着力点之一,火山爆发的机制及其对人类、大气、水圈和地球本身的影响成为当今地学研究极具挑战的前沿。

因此,综合运用地质学、火山学、地球物理学、地球化学研究方法,结合高温高压实验和计算模拟等手段,对不同学科的研究结果进行对比、鉴别和整合,才能揭示出地球不同时期的深地物质循环规律,建立深地过程及其效应的自洽模型。

## 2 科学价值

宜居地球形成与演化的深部控制因素是地球系统科学的前沿,有太多的未知等待着我们去探索。圈层间相互作用是这一科学前沿的核心,建立圈层间的纽带是该核心的前提。揭示岩浆过程可以建立地球各圈层之间的纽带(郑建平和戴宏坤, 2018; Aiuppa *et al.*, 2021; Arzilli *et al.*, 2022),有可能贯通地球演化过程中错综复杂的深部物质组成、深部动力学过程、资源分配以及环境变迁,实现从地球系统科学的角度认识宜居地球过去、现在和未来。

## 3 发展前景

岩浆是地球演化的血脉,也是地球演化历史的档案。深化岩浆过程连接地球深部过程与浅部系统的研究,将关系到双碳计划、深部碳循环、深地深空探测、关键矿产成矿、健康地球及其宜居性演化等领域,必将推动地球科学各领域之间的深度交叉融合,促进地球系统科学的发展。

### 参考文献

Aiuppa, A., Casetta, F., Coltorti, M., et al., 2021. Carbon Concentration Increases with Depth of Melting in Earth's Upper Mantle. *Nature Geoscience*, 14(9): 697–703. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00797-y>

Arzilli, F., Polacci, M., LaSpina, G., et al., 2022. Dendritic Crystallization in Hydrous Basaltic Magmas Controls Magma Mobility within the Earth's Crust. *Nature Communications*, 13(1): 3354. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30890-8>

Cashman, K. V., Sparks, R. S. J., Blundy, J. D., 2017. Verti-

cally Extensive and Unstable Magmatic Systems: A Unified View of Igneous Processes. *Science*, 355(6331): eaag3055. <https://doi.org/10.1126/science.aag3055>

Coleman, D. S., Mills, R. D., Zimmerer, M. J., 2016. The Pace of Plutonism. *Elements*, 12(2): 97–102. <https://doi.org/10.2113/gselements.12.2.97>

Hofmann, A. W., 2014. Sampling Mantle Heterogeneity through Oceanic Basalts: Isotopes and Trace Elements. In: Holland, H. D., Turekian, K. K., eds., *Treatise on Geochemistry* (Second Edition). Oxford: Elsevier, 67–101.

Langmuir, C. H., Broecker, W. S., 2012. *How to Build a Habitable Planet: The Story of Earth from the Big Bang to Humankind*. Princeton University Press, Princeton and Oxford.

Lee, C. T. A., Yeung, L. Y., McKenzie, N. R., et al., 2016. Two-Step Rise of Atmospheric Oxygen Linked to the Growth of Continents. *Nature Geoscience*, 9(6): 417–424. <https://doi.org/10.1038/ngeo2707>

Ma, Q., Zheng, J. P., Xu, Y. G., et al., 2015. Are Continental “Adakites” Derived from Thickened or Foundered Lower Crust? *Earth and Planetary Science Letters*, 419: 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.02.036>

Sun, H., Xiao, Y. L., Gao, Y. J., et al., 2018. Rapid Enhancement of Chemical Weathering Recorded by Extremely Light Seawater Lithium Isotopes at the Permian–Triassic Boundary. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(15): 3782–3787. <https://doi.org/10.1073/pnas.1711862115>

Zheng, J. P., Griffin, W. L., O'Reilly, S. Y., et al., 2008. Continental Collision and Accretion Recorded in the Deep Lithosphere of Central China. *Earth and Planetary Science Letters*, 269(3–4): 497–507. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.03.003>

Zheng, J. P., Lee, C. T. A., Lu, J. G., et al., 2015. Refertilization-Driven Destabilization of Subcontinental Mantle and the Importance of Initial Lithospheric Thickness for the Fate of Continents. *Earth and Planetary Science Letters*, 409: 225–231. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.10.042>

Zindler, A., Hart, S., 1986. Chemical Geodynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 14: 493–571. <https://doi.org/10.1146/annurev.earth.14.050186.002425>

郑建平, 戴宏坤, 2018. 西太平洋板片俯冲与后撤引起华北东部地幔置换并导致陆内盆—山耦合. *中国科学: 地球科学*, 48(4): 436–456.

郑建平, 夏冰, 戴宏坤, 等, 2021. 地球物理观察和岩石包体约束华北岩石圈地幔结构、性质及过程. *中国科学: 地球科学*, 51(2): 201–217.