

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.822>



生物圈能在多大程度上影响地球深部圈层?

谢树成

中国地质大学生物地质与环境地质国家重点实验室,地球科学学院,湖北武汉 430074

地球各圈层之间的相互作用是地球系统科学的重要内容.人们已经对地球表层系统的大气圈、水圈、生物圈和岩石圈之间的相互作用,深地系统的地壳、地幔、地核之间的相互作用开展了大量卓有成效的研究,取得了许多突出的成果.然而,要了解地球系统的整体运行规律,迫切需要刻画深地系统与表层系统之间的相互作用(朱日祥等,1999; Mikhail and Sverjensky, 2014; Brune *et al.*, 2017; 汪品先等,2018).火山活动等深部过程对表层系统的影响已经取得了重要进展(Hartmann, 2019; MacDonald *et al.*, 2019).例如,人们已经认识到,火山活动导致了地球表层环境的巨变,进而引发了显生宙的数次生物大灭绝(殷鸿福等,2013).然而,表层系统如何影响地球深部过程还缺乏深入的研究.特别是,生物圈作为地球表层系统的一大关键圈层,它是如何影响地球深部圈层则基本是一片处女地,目前人们对这一问题还难以做出实质性的回答.

1 核心思想

地球区别于其他星体的一大关键是拥有生物圈,因而生物与地球环境的相互作用与协同演化一直是地球科学的研究主题.人们已经开展了大量有关地球环境变化如何引发生命起源和生物演化的工作(戎嘉余等,2004).但是,生物与地球环境是存在双向作用的,生物反过来又会引发地球环境变迁,从而形成适合人类生存的宜居地球.如果说生物圈通过产氧、减碳、降温等途径对地球表层系统

产生了深远的影响(谢树成等,2022),那么生物圈势必通过地球表层系统的风化、沉积和成岩作用又进一步影响深部圈层,从而影响甚至改变地球系统的演化方向.特别是,自从板块构造启动以来,生物圈这种“自上而下”的地质作用应该是一直存在的.生命塑造地球,不仅仅限于表层系统,还要深入深地系统.

首先,生物的产氧作用深刻地影响了整个地球系统.生物产氧作用导致地球表层系统发生根本性变革,分别在元古代的早期和晚期出现了两次大氧化事件.虽然深部过程也发挥了重要贡献,但生物产氧作用直接为大氧化事件提供了氧气的源.前寒武纪两次大氧化事件不仅使得大气圈和水圈发生变革,生物圈也先后出现了真核生物和多细胞动物(Lyons *et al.*, 2021).地球表层系统这三大圈层的变化又通过风化、沉积和成岩作用导致沉积物(岩)的组成、通量发生了巨变.这些生物参与形成的沉积物(岩)通过板块俯冲作用又被输送到地球深部,极大地影响了深部的物化条件和物质循环,特别是与碳基生命有关的碳循环(Barry *et al.*, 2019).同时,这些沉积物(岩)具有很大的润滑作用,使得两次大氧化事件前后的板块构造活动特别活跃,成了板块构造运动转变的关键时间节点(Sobolev *et al.*, 2019).

其次,生物的碳汇作用在影响表层系统的同时也影响深地过程.在古生代与中生代之交,古气候突变引发了显生宙最大规模的生物大灭绝事件,导致海洋生态系统的巨变,处于食物链底层的优势藻

基金项目:国家自然科学基金委创新研究群体项目(No. 41821001)

作者简介:谢树成(1967—),男,教授,博士生导师,中国科学院院士,主要从事地球生物学与全球变化研究. E-mail: xiecug@163.com

引用格式:谢树成,2022.生物圈能在多大程度上影响地球深部圈层? 地球科学,47(10):3815—3817.

Citation: Xie Shucheng, 2022. To What Extent Could the Biosphere Impact Deep Earth? *Earth Science*, 47(10): 3815—3817.

类从古生代的绿藻转变为中生代的红枝藻类(Martin and Quigg, 2013). 颗石藻等具有钙质壳体的微生物开始出现并随后爆发(Falkowski *et al.*, 2004), 这些红枝藻类能够把浅水碳酸盐输入到深水, 从而在大洋底部沉积了大量的碳酸盐, 由此出现了著名的中生代革命(Eichenseer *et al.*, 2019). 远洋碳酸盐沉积通过板块俯冲输入到地球深部, 进一步影响了深部的碳循环. 140 Ma 以来地球深部碳储库的增加主要是由这些生物成因的远洋碳酸盐输入所导致的(Müller *et al.*, 2022).

另外, 大洋底部存在强烈的水-岩相互作用, 会使磁铁矿转变成赤铁矿, 这些含铁矿物随着俯冲作用而被带入到地球深部. 实验证实, 赤铁矿通过冷的俯冲带被带入深部地幔过渡带还可以保有磁性, 从而在地幔深部形成磁异常(Kupenko *et al.*, 2019). 这也是生物通过表层系统影响深部过程的一种可能途径.

元古代两次大氧化事件前后板块构造活动的转变、中生代以来深部碳循环的变化等深部地质过程很好地记录了重大地质突变期生物圈通过地球表层系统对深部圈层产生的可能影响. 然而, 人们有关生物圈对深部圈层的影响还远未了解, 缺乏深入的量化研究, 更谈不上理论认识上的突破. 如果说, 生物圈对地球表层系统产生的重要影响已经取得了共识, 那么生物圈能在多大程度上影响深部圈层则还没有形成共识.

2 科学价值

生物圈对地球深部圈层的影响, 是由表及里认识生态系统对宜居地球影响的关键所在, 是认识生物对地球系统整体影响的一个关键而薄弱的环节. 在查明生物圈对表层系统影响的基础上, 只有深入认识生物圈对深部过程的影响, 才能正确评估生物圈是如何影响地球系统的整体演化方向. 同时, 地球因拥有生物圈而与其他星体存在巨大差别, 这种差别又进一步影响了地球深部过程和深部圈层, 阐述生物圈在多大程度上改变了地球系统的演化方向, 对发展比较行星学具有重要意义. 因此, 了解生物圈对深部圈层的影响对发展地球系统科学、行星科学都具有重要的科学价值.

自从生命出现以来, 生物与地球环境一直发生相互作用, 进而导致生物演化与地球环境变迁存在协同关系. 在查明地球环境影响生命系统的基础

上, 探索生命系统对地球环境的影响是理解宜居地球形成的关键所在, 将极大地推动地球生物学的发展, 促进地球科学与生命科学的交叉融合.

3 发展前景

深-浅相互作用需要加强表层系统对深地系统影响的研究, 生物-环境相互作用则需要加强生物对环境作用的研究. 这两方面的共同聚焦点在于突破生物圈对地球深部圈层的影响, 阐述生物圈能在多大程度上对地球深部圈层产生影响因而具有巨大的发展前景.

在充分了解了生物大灭绝、生命大爆发等有关地球环境对生物演化影响的大背景下, 人们迫切需要理解生物反过来又如何进一步影响地球环境, 而生物如何影响地球深部过程是其中关键而薄弱的一环. 它不仅仅是认识地球表层系统变化的一环, 更是理解深部地质过程不可缺少的一环, 孕育着地球系统科学从 0 到 1 的重大科学理论突破, 发展潜力巨大.

同时, 生物通过影响地球深部圈层而改变深部地质过程的一系列物化条件, 影响一些物质的离散或者聚集, 从而对深部资源能源形成做出重要贡献, 关系到深地资源能源的勘探和开发. 从这方面来说, 查明生物圈对地球深部圈层的影响也具有巨大的发展前景.

参考文献

- Barry, P. H., de Moor, J. M., Giovannelli, D., et al., 2019. Forearc Carbon Sink Reduces Long-Term Volatile Recycling into the Mantle. *Nature*, 568(7753): 487–492. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1131-5>
- Brune, S., Williams, S.E., Müller, R.D., 2017. Potential Links between Continental Rifting, CO₂ Degassing and Climate Change through Time. *Nature Geoscience*, 10(12): 941–946. <https://doi.org/10.1038/s41561-017-0003-6>
- Eichenseer, K., Balthasar, U., Smart, C.W., et al., 2019. Jurassic Shift from Abiotic to Biotic Control on Marine Ecological Success. *Nature Geoscience*, 12(8): 638–642. <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0392-9>
- Falkowski, P.G., Katz, M.E., Knoll, A.H., et al., 2004. The Evolution of Modern Eukaryotic Phytoplankton. *Science*, 305(5682): 354–360. <https://doi.org/10.1126/science.1095964>
- Hartmann, J., 2019. Plate Tectonics, Carbon, and Climate. *Science*, 364(6436): 126–127. <https://doi.org/10.1126/>

- science.aax1657
- Kupenko, I., Aprilis, G., Vasiukov, D.M., et al., 2019. Magnetism in Cold Subducting Slabs at Mantle Transition Zone Depths. *Nature*, 570(7759): 102–106. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1254-8>
- Lyons, T.W., Diamond, C.W., Planavsky, N.J., et al., 2021. Oxygenation, Life, and the Planetary System during Earth's Middle History: An Overview. *Astrobiology*, 21(8): 906–923. <https://doi.org/10.1089/ast.2020.2418>
- MacDonald, F.A., Swanson-Hysell, N.L., Park, Y., et al., 2019. Arc-Continent Collisions in the Tropics Set Earth's Climate State. *Science*, 364(6436): 181–184. <https://doi.org/10.1126/science.aav5300>
- Martin, R., Quigg, A., 2013. Tiny Plants that once Ruled the Seas. *Scientific American*, 308(6): 40–45. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0613-40>
- Mikhail, S., Sverjensky, D.A., 2014. Nitrogen Speciation in Upper Mantle Fluids and the Origin of Earth's Nitrogen-Rich Atmosphere. *Nature Geoscience*, 7(11): 816–819. <https://doi.org/10.1038/ngeo2271>
- Müller, R.D., Mather, B., Dutkiewicz, A., et al., 2022. Evolution of Earth's Tectonic Carbon Conveyor Belt. *Nature*, 605(7911): 629–639. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04420-x>
- Sobolev, S.V., Brown, M., 2019. Surface Erosion Events Controlled the Evolution of Plate Tectonics on Earth. *Nature*, 570(7759): 52–57. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1258-4>
- 戎嘉余, 方宗杰, 2004. 生物大灭绝与复苏: 来自华南古生代和三叠纪的证据(上、下卷). 合肥: 中国科学技术大学出版社.
- 汪品先, 田军, 黄恩清, 等, 2018. 地球系统与演变. 北京: 科学出版社, 565.
- 谢树成, 焦念志, 罗根明, 等, 2022. 海洋生物碳泵的地质演化: 微生物的碳汇作用. *科学通报*, 67(15): 1715–1726.
- 殷鸿福, 宋海军, 2013. 古、中生代之交生物大灭绝与泛大陆聚合. *中国科学: 地球科学*, 43(10): 1539–1552.
- 朱日祥, 刘青松, 潘永信, 1999. 地磁极性倒转与全球性地质事件的相关性. *科学通报*, 44(15): 1582–1589.