



关注前寒武纪大陆形成演化研究

翟明国^{1,2*}, 赵国春^{3,4*}, 郭敬辉^{1,2*}

1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 岩石圈演化国家重点实验室, 北京 100029;

2. 中国科学院大学地球与行星科学学院, 北京 100068;

3. 西北大学地质学系, 西安 710054;

4. 香港大学地球科学系, 香港

* 联系人, E-mail: mgzhai@mail.iggcas.ac.cn; gczhao@icloud.com; jhguo@mail.iggcas.ac.cn

Focus on form and evolution of Precambrian continents

Mingguo Zhai^{1,2*}, Guochun Zhao^{3,4*} & Jinghui Guo^{1,2*}

¹ State Key Laboratory of Lithospheric Evolution, Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

² College of Earth and Planetary Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100068, China;

³ Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710054, China;

⁴ Department of Earth Sciences, University of Hong Kong, Hong Kong, China

* Corresponding authors, E-mail: mgzhai@mail.iggcas.ac.cn; gczhao@icloud.com; jhguo@mail.iggcas.ac.cn

doi: 10.1360/TB-2022-1145



翟明国

中国科学院大学资深讲座教授、中国科学院地质与地球物理研究所研究员, 中国科学院院士和发展中国家科学院(The World Academy of Sciences, TWAS)院士. 主持国家重点基础研究发展计划项目、中国科学院重大研究项目和国家自然科学基金重大研究项目等. 国家自然科学基金二等奖获得者. 主要从事前寒武纪地质学和变质地质学研究.

“前寒武纪地质学”研究的是寒武纪(5.4亿年)之前地质时代的地质问题, 核心是大陆形成演化及相关环境资源效应. 前寒武纪时间跨度约40亿年, 占地球形成以来的90%, 对理解地球的历史、现在以及未来具有重要意义. 相关的重要科学问题包括圈层分异、大陆形成和演化, 以及伴随的构造、物质(包括矿产)、环境和早期生命演化. 地球是太阳系中唯一的具有花岗岩质陆壳以及出现板块构造的星球, 前寒武纪地质的研究, 对了解地球的形成演化、生命宜居环境, 以至地球的未来命运都至关重要. 地球早期历史中有3个重大的地质事件: 大陆地壳的巨量生长和稳定化、构造体制的演化、地球环境的剧变, 它们涵盖了地球的物质(资源)、构造和环境(灾害)科学的所有内容. 大陆起源和演化是前寒武纪地质中的核心科学问题, 长英质地壳是地球圈层分异和相互作用的最终(至今)结果. 其中陆核的成因、陆壳的生长和稳定化是永久的主题, 它是地球热演化、深部圈层以及气圈、水圈和生物圈层形成-耦合的最基本着眼点和切入点. 可以说, 大陆的形成和演化打破了全球被贫氧大洋壳覆盖的局面, 改变了地球的氧化状态. 由于只有大陆岩石记录了地球有地壳以来的演化历史, 因此大陆演化与环境演化的关联性研究是可行的途径. 其中早期环境演化与物质(包括矿产)循环是两个亟待加强的学科前沿, 系统的早期地球演化研究是固体地球科学的基础, 也是与行星科学最具可操作性的关联点.

早期大陆形成在世界各国地球科学研究白皮书中长期被列为第一项课题. 同时, “前寒武纪地质学”也是与类地行星比较研究联系最密切的学科. 我国在前寒武纪地质研究中有其特点和优势, 尤其是华北克拉通大陆早期演化等方面的研究成果得到国际同行的高度关注和好评. 当前, 这个领域的研究



赵国春

香港大学讲座教授和西北大学长江学者讲座教授,中国科学院院士和发展中国家科学院(TWAS)院士,美国地质学会(Geological Society of America, GSA)会士。国家自然科学基金重大项目“Pangea的东亚重建”首席科学家,国家自然科学基金二等奖获得者。主要从事前寒武纪地质和超大陆研究。



郭敬辉

中国科学院地质与地球物理研究所研究员、中国科学院大学教授。国家重点基础研究发展计划项目首席科学家,国家自然科学基金二等奖获得者。主要从事变质作用与前寒武纪地质学研究,近期研究集中于超高温变质作用与早期板块构造。

热度与深度在国际上进一步增高。相比之下,我国的研究在某些方面表现出一定程度的滞后,甚至有与国外前沿拉大距离的趋势。中国科学院学部2021年组织召开了“早期大陆形成演化与环境资源效应”科学与技术前沿论坛。本次论坛重点关注国际前寒武纪地质学的发展历程和现状,国际科学前沿和发展趋势、发展方向,我国学术界在本学科领域的研究能力和创新能力,以及我国在该学科领域应该着力发展的战略方向和重大科学主题。本专题从中遴选了冥古宙地球演化、最古老陆壳物质、前板块构造与大陆起源,以及大火成岩省与古大陆古环境4个有特色的研究方向,进行重点分析和讨论。

地球花岗质陆壳的形成机制是长期悬而未决的重大科学问题之一。刘耘和章清文^[1]鉴于地球与太阳系类地天体在原始物质组成、内部结构、热演化和构造体制演变等方面的相似性,从比较行星学的角度,探讨弥补地球早期演化认识的空白。他们总结了冥古宙地球的后期物质加积与热演化研究进展;比较了已经提出的早期地球全球性构造体制;继而分析了冥古宙壳-幔分异的岩石学和地球化学证据。他们认为,地球早期冷却过程、原始地壳的形成机制和构造体制的性质等是本领域的关键科学问题,比较行星学研究能带来突破口。在地球原始组成和早期壳幔分异研究方面,通过对比陨石、彗星和小行星,可以有助于研究早期地球的物质组成和形成过程;通过对比月球斜长岩“陆壳”,可以有助于研究地球岩浆洋和壳幔分异。在地球早期热演化、内部分异和构造体制方面,通过小行星研究地球在星子、星胚阶段的热演化和内部分异,通过类地天体的构造-岩浆活动观测研究地球早期热演化、构造体制的性质和壳-幔分异,通过金星、火星研究早期地幔动力学,通过火星、月球研究早期地磁场起源和核-幔热量交换等。在早期大气圈、水圈演化方面,可以通过火星、金星、土卫六的大气研究地球早期大气的成分和演化,通过冰卫星研究地球水圈的演化和生命起源。这些研究离不开模拟实验、理论计算和数值模拟等的发展。

了解最古老陆壳的形成及性质,是阐释地球壳幔物质分异和构造演化的逻辑起点;研究早期大陆地壳生长规律及与最古老地壳的继承关系,是古老大陆形成演化研究首要和长期的科学主题,具有不可替代的科学价值。万渝生等人^[2]总结了地球上的最古老物质记录,并对未来研究方向进行了展望。最古老锆石遍布各个大陆,主要存在于太古宙岩石中,其中西澳杰克山-纳瑞尔山是大于39亿年锆石发现最多的地区。最古老岩石主要分布于北半球,规模通常很小,其中西南格陵兰分布范围最大。文章总结了北美阿卡什塔片麻岩杂岩等10个地质体/地区古老物质记录情况,分析比较了这些古老陆壳物质的时空演化特征,重点讨论了这些古老物质的形成方式。他们认为,38亿年前,最古老陆壳的物质组成和形成条件已显示出多样性,表明陆壳在那时就已达到较高的演化程度。代表早期陆壳演化重要转折的壳源富钾花岗岩在37亿年之后才开始形成,大规模形成的时代更晚。一些地区存在大规模35亿年基性岩墙群,表明某些地区陆壳在那时规模就比较大。他们分析了最古老陆壳物质形成方式,包括陨石撞击、冰岛模式、岛弧岩浆作用、板底垫托、热管构造等,提出需要加强总结寻找和发现最古老陆壳物质的方法。而中国大陆在这一领域具有优势,其中,在华北克拉通鞍山-本溪和冀东地区最有希望取得重大突破。同时,也应加强实验岩石学、大数据分析和全球对比、同位素地球化学分析等重要研究

方法的应用。

建立于20世纪60年代并被誉为地球科学史上一场革命的板块构造理论,虽然能圆满地解释显生宙至元古宙几乎所有的地质现象、过程和事件,但却无法解释太古宙克拉通的基本特征:(1)绿岩带内高温科马提岩的成因;(2)缺乏弧安山岩的双峰式火山岩组合;(3)占太古宙陆壳总面积70%以上、几乎同时侵位的花岗质片麻岩的岩石成因;(4)反映垂向运动的片麻岩穹窿构造样式;(5)缺失蛇绿岩、蓝片岩、榴辉岩和双变质带等板块构造特征标志。赵国春等人^[3]认为,以上特征说明太古宙大陆可能不是起源于板块构造体制,而是起源于某种前板块构造体制。他们逐一分析了若干个前板块构造模式,包括地幔柱、重力下沉、热腔、滞留盖构造等模式,认为这些前板块构造中没有一个是能圆满解释大陆起源与演化;建立一个能圆满地解释太古宙大陆起源与演化的前板块构造体系已成为当前地球科学领域研究的重中之重。他们列举了国际上主攻这一地球科学难题的科研团队,分析了我国在本领域研究的重大进展,尤其分析了我国在“华北克拉通前寒武纪地质”等研究领域的贡献与影响,提出我国加强相关领域的研究,必将推动一个与板块构造理论地位同等重要的前板块构造理论体系的诞生。

大火成岩省代表了地质历史上相对较短时期内形成的规模宏大的幔源岩浆活动。这种大规模岩浆活动通常与地球深部过程,特别是地幔柱密切相关,对于重建地质历史时期的超大陆,研究全球性大气-海洋环境巨变及生物灭绝、大规模成矿都有重要意义。张拴宏和彭澎^[4]重点总结了大火成岩省在重建新太古代-古元古代早期超级克拉通、确立劳伦古陆与西伯利亚在1700~700 Ma之间长时期的连接关系、讨论华北克拉通在哥伦比亚和罗迪尼亚超大陆中位置等方面的进展;重点总结了大火成岩省对大气-海洋环境及早期生物演化的影响,如大火成岩省与大氧化事件、新元古代冰期的关系,地球中后期大火成岩省与全球大规模黑色液氧沉积的关系等。他们提出,应该在元古宙大火成岩省高精度年代学及岩浆体量恢复、大火成岩省与超大陆旋回及其动力学、大火成岩省导致黑色页岩沉积的机制、中元古代时期巨厚黑色页岩沉积及有机碳超常富集机理、元古宙黑色页岩沉积时代、沉积速率及其资源能源潜力、与大火成岩省相伴的区域性抬升剥蚀作用等领域开展深入研究。需要注意的是,在这两个大火成岩省发生的时期,还发生了两次重大增氧事件。其中,在太古宙与元古宙之交,地球的表层环境发生了从无氧到有氧状态的转化,称为大氧化事件(great oxidation event, GOE);在元古宙和显生宙之交,地球表层环境的氧化还原状态又发生了一次重大变化,被称为新元古氧化事件(Neoproterozoic oxidation event, NOE),其机理以及与地球环境剧变的关系也需要深入探讨。

参考文献

- 1 Liu Y, Zhang Q W. Secular cooling, differentiation and tectonic regimes of the Hadean Earth from a comparative planetological perspective (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2023, 68: 2284–2295 [刘耘, 章清文. 冥古宙地球的冷却、分异和构造体制及其比较行星学研究. *科学通报*, 2023, 68: 2284–2295]
- 2 Wan Y S, Xie H Q, Dong C Y, et al. Oldest continental materials: A review (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2023, 68: 2296–2311 [万渝生, 颜颜强, 董春艳, 等. 最古老陆壳物质: 综述. *科学通报*, 2023, 68: 2296–2311]
- 3 Zhao G C, Zhang J, Yin C Q, et al. Pre-plate tectonics and origin of continents (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2023, 68: 2312–2323 [赵国春, 张健, 尹常青, 等. 前板块构造与大陆起源. *科学通报*, 2023, 68: 2312–2323]
- 4 Zhang S H, Peng P. Proterozoic large igneous provinces and implications for paleogeographic and paleoenvironmental reconstructions (in Chinese). *Chin Sci Bull*, 2023, 68: 2324–2340 [张拴宏, 彭澎. 元古宙大火成岩省与超大陆重建及古环境. *科学通报*, 2023, 68: 2324–2340]