

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.811>



火星的地质环境及宜居性演变历史如何？

肖 龙

中国地质大学地球科学学院, 湖北武汉 430074

现今的火星是一个寒冷的沙漠星球, 磁场几近消失, 缺少火山活动, 大气稀薄缺氧, 遭受强烈的太阳和宇宙射线辐射, 不适宜生命的生存和繁衍. 尽管如此, 它却是太阳系中与地球最为相似的天体: 大区域的磁异常条带和局部残余磁场、高耸的火山、广泛分布的干河床等流水地貌、大量的湖泊和古海洋遗迹等 (Baker *et al.*, 1991; Carr and Head, 2003; Carr, 2006; Michalski *et al.*, 2022), 都指示火星可能曾经有过类似地球的全球性磁场、强烈的火山活动、浓厚的大气和暖湿的宜居环境. 可见, 火星的地质活动类型、强度和外部环境发生过巨大的变化, 可能是地球未来的写照. 因此, 对火星地质环境及其演变历史的研究, 不仅对认识火星的宜居性和地外生命探索具有重要意义, 而且对于研究地球的宜居性演变趋势也意义重大. “天问一号”火星探测任务的成功实施揭开了中国行星际探测的序幕 (万卫星等, 2019), 规划中的“天问三号”将开展火星采样返回, 因而对相关科学问题的研究和成果应用, 是国家的重大战略需求 (潘永信和王赤, 2021), 也是我国行星科学发展的重大机遇.

1 核心思想

早期火星位于太阳系宜居带内 (Kasting *et al.*, 2014), 地质作用活跃, 液态水活动广泛分布, 可能有稠密的大气层, 被认为是太阳系中除地球之外最有可能形成生命的天体. 火星表面保存的与火山活动和液态水活动有关的地质地貌现象, 不仅记录了火星的地质作用历史, 还揭示了火星气候环境与宜

居条件的演变过程 (Clifford and Parker, 2001; Fassett and Head, 2008; Xiao *et al.*, 2012; Goudge *et al.*, 2015). 因此, 火星的宜居性及生命探测在行星科学中占据着重要地位, 人类的大多数火星探测活动都是围绕火星宜居环境的演变和寻找地外生命这一中心而展开的.

火星科学与探测中, 最核心、最重大的科学问题就是火星的宜居性: 如何判别其环境的宜居性? 宜居环境的动态变化如何? 怎么才能探测或确认火星是否存在生命? …… 其中早期火星表面的气候环境如何, 一直是火星科学和火星宜居性及火星生命探测最关注的前沿问题, 也是争议较大的问题. 探索火星的宜居性和寻找生命迹象有 3 种途径: (1) 探测器对火星表面的直接探测; (2) 研究火星陨石和未来火星返回样品中是否有生命迹象; (3) 与火星相似的地球环境类比研究 (Cockell, 2015).

2 学术价值

火星复杂和长期的内外动力地质活动造就了地貌和地质构造的多样性. 巨大的火山建造、峡谷河网、湖泊盆地、大小与形态多样的撞击构造是火星地质演化的直接记录. 火星表面岩石和矿物类型复杂, 层状硅酸盐、蒸发盐等水成矿物的分布和组合特征是地质环境演变的重要反映. 由此可见, 火星是研究太阳系类地行星地貌, 开展比较行星地质学和矿物岩石学研究最为理想的天体.

针对火星宜居性研究的问题, 需要从宏观尺度探寻碳基生命 (与地球生命一样的生命形式及其形

作者简介: 肖龙 (1963—), 男, 教授, 博士生导师, 研究领域为行星地质与比较行星学、陨石学、火成岩及其成矿作用. E-mail: longxiao@cug.edu.cn

引用格式: 肖龙, 2022. 火星的地质环境及宜居性演变历史如何? 地球科学, 47(10): 3792—3793.

Citation: Xiao Long, 2022. What Geological Habitability Evolution did Mars Undergo? *Earth Science*, 47(10): 3792—3793.

成与生存环境条件)必须具备的环境条件,如温度、大气、水、辐射环境、物质组成、热源等。其中,最关键的是详细研究水在火星历史中的存在和活动方式,包括水存在的直接证据、水的赋存方式、水岩相互作用过程、火山作用与地下水活动关系等等。涉及火星形貌、地质构造、水成地貌与水循环、火山活动、水成矿物、地下水冰分布等,都是与宜居环境判别密切相关的研究主题,也因此是火星科学和火星探测关注的重点。

3 应用前景

火星地质地貌和环境的演变研究,不仅对于认识行星演化和探索地外生命具有重要科学意义,而且对未来火星资源利用和火星移民等具有应用价值。火星探测基本的科学导向是在直接探测火星生命信息的同时,通过采样返回和原位探测等多种手段,结合地球极端环境的类比研究,对火星的环境宜居性进行科学和全面的评价,为揭示类地行星演化的普遍规律提供样板(潘永信和王赤,2021)。另一方面,作为最有可能开展星际移民的天体,火星地质环境的详细刻画,对于厘清火星资源分布,开展资源评价,开发原位资源利用技术,改造火星和火星移民都具有极大的应用价值,也是我国深空探测的国家战略需求。以“天问一号”火星探测为标志的行星际探测,以及规划中的“天问三号”火星采样返回任务等,对于我国行星科学的发展将发挥引领作用(万卫星等,2019)。

参考文献

- Baker, V. R., Strom, R. G., Gulick, V. C., et al., 1991. Ancient Oceans, Ice Sheets and the Hydrological Cycle on Mars. *Nature*, 352(6336): 589—594. <https://doi.org/10.1038/352589a0>
- Carr, M.H., Head, J.W. III, 2003. Oceans on Mars: An Assessment of the Observational Evidence and Possible Fate. *Journal of Geophysical Research*, 108(E5): 5042.

<https://doi.org/10.1029/2002je001963>

- Carr, M.H., 2006. The surface of Mars. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Clifford, S.M., Parker, T.J., 2001. The Evolution of the Martian Hydrosphere: Implications for the Fate of a Primordial Ocean and the Current State of the Northern Plains. *Icarus*, 154(1): 40—79. <https://doi.org/10.1006/icar.2001.6671>
- Cockell, C.S., Cousins, C., Wilkinson, P.T., et al., 2015. Are Thermophilic Microorganisms Active in Cold Environments? *International Journal of Astrobiology*, 14(3): 457—463. <https://doi.org/10.1017/s1473550414000433>
- Fassett, C. I., Head, J. W. III, 2008. Valley Network—Fed, Open—Basin Lakes on Mars: Distribution and Implications for Noachian Surface and Subsurface Hydrology. *Icarus*, 198(1): 37—56. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2008.06.016>
- Goudge, T. A., Aureli, K. L., Head, J. W., et al., 2015. Classification and Analysis of Candidate Impact Crater—Hosted Closed—Basin Lakes on Mars. *Icarus*, 260: 346—367. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2015.07.026>
- Kasting, J.F., Kopparapu, R., Ramirez, R. M., et al., 2014. Remote Life—Detection Criteria, Habitable Zone Boundaries, and the Frequency of Earth—Like Planets around M and Late K Stars. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(35): 12641—12646. <https://doi.org/10.1073/pnas.1309107110>
- Michalski, J.R., Goudge, T.A., Crowe, S. A., et al., 2022. Geological Diversity and Microbiological Potential of Lakes on Mars. *Nature Astronomy*, 1—9. <https://doi.org/10.1038/s41550-022-01743-7>
- Xiao, L., Huang, J., Christensen, P.R., et al., 2012. Ancient Volcanism and Its Implication for Thermal Evolution of Mars. *Earth and Planetary Science Letters*, 323/324: 9—18. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2012.01.027>
- 潘永信,王赤,2021. 国家深空探测战略可持续发展需求:行星科学研究. *中国科学基金*, 35(2): 181—185.
- 万卫星,魏勇,郭正堂,等,2019. 从深空探测大国迈向行星科学强国. *中国科学院院刊*, 34(7): 748—755.