

<https://doi.org/10.3799/dqkx.2022.806>



圈层相互作用：深部过程如何影响表层地球系统？

刘 静, 刘丛强, 陈 喜, 徐 胜, 徐 海, 王礼春

天津大学地球系统科学学院, 天津 300072

表层地球系统中, 岩石、土壤、水和有机生命通过复杂的相互作用共同塑造地表环境, 调控岩石圈—水圈—大气圈—生物圈的演化, 形成了表层地球系统与人类活动密切交互的地球关键带, 为自然生命提供支撑资源(NRC, 2001). 全新世以来人类逐渐成为驱动地球系统演变的主导力量之一, 尤其是 18 世纪工业革命以来, 随着技术的巨大发展, 人类活动深刻影响着地球系统的演变和稳定性, 而这种影响反过来可能会对地球系统和人类自身的可持续发展构成挑战. 表层地球系统与人类的福祉息息相关, 因此理解地球表层系统中各个要素的现状、演变过程和相互作用, 是实现表层地球过程调控和资源可持续利用的必要前提, 也是探索人类社会可持续发展途径的基石(刘丛强, 2019, “焕庸地理大讲堂”系列学术报告: 表层地球系统科学与可持续发展). 近年来针对表层地球系统中最动态的、最活跃的生物—地球化学循环过程, 表生地球化学领域获得了很好的相关进展. 相比而言, 目前固体地球深部过程与地表各圈层之间的相互作用仍然是地球不同圈层研究中的一个薄弱环节, 地球深—浅部过程的耦合探索是今后表层地球系统研究中急需加强的一环.

1 核心思想

深部过程与表层地球多个系统可以通过地形产生关联并相互作用. 比如, 地球关键带的结构和性质可能会因为构造应力产生的地形差异而发生系统性变化(St Clair *et al.*, 2015); 在构造活跃区地

形演化速率快, 表层地球系统的各要素表现出对深部过程驱动的不同敏感度和响应速率(Riebe *et al.*, 2017).

宏观尺度上, 构造作用造成山体抬升, 地形和海平面变化都会影响陆地和海洋物种的数量和种类分布(Badgley, 2010); 反之, 陆地生物活动也会通过改变地形地貌, 影响地形的稳定性和地表侵蚀速率等(Davies and Gibling, 2010), 进而影响地形与构造过程和气候之间的耦合作用. 区域和边坡尺度上, 构造应力和地形通过控制基岩破碎度和土壤形成速率, 改变地表过程的方式(St Claire *et al.*, 2015); 地形和气候共同塑造地貌类型, 影响侵蚀速率和地球关键带的物理—化学—生物过程, 因此地球关键带的地形、岩性、气候、隆升和侵蚀速率以及风化深度和强度之间往往存在明显的定量关系(Riebe *et al.*, 2017; Anderson *et al.*, 2019).

地球深—浅部耦合过程的核心是构造、地表过程、气候等因素与地球关键带地形地貌间的互馈机制(刘静等, 2018). 具体的机理性科学问题会随研究对象和过程的不同而发生变化, 比如岩石力学特性、暴雨等短历时事件、地球圈层的流变性质和动力过程等因素在地形地貌演化以及在地貌与大气圈、冰冻圈、水圈和生物圈的共同演化中的作用等.

2 科学价值

近年来, 科学家们逐渐达成一个共识——地球系统不同部分之间存在紧密关联; 地球系统科学的理念也被越来越广泛接受. 地球系统科学将研究地

作者简介: 刘静(1969—), 女, 教授, 主要从事构造地貌、地震地质和古地震等方向的研究. E-mail: liu_zeng@tju.edu.cn

引用格式: 刘静, 刘丛强, 陈喜, 徐胜, 徐海, 王礼春, 2022. 圈层相互作用: 深部过程如何影响表层地球系统? 地球科学, 47(10): 3781—3782.

Citation: Liu Jing, Liu Congqiang, Chen Xi, Xu Sheng, Xu Hai, Wang Lichun, 2022. Earth's Spheres Interact: How Deep Processes Affect the Surface-Earth System? *Earth Science*, 47(10): 3781—3782.

球系统某个组分但相互孤立的传统学科连接起来,进而将地球作为一个复杂适应系统来研究其组成、结构、过程和功能(Steffen *et al.*, 2020).

陆表植被冠层到基岩破碎带底部之间的地球关键带是构造、气候、地形、风化、侵蚀和生物等要素在地质时间尺度上相互作用的产物;地质背景和构造演化历史决定一个地区的地形地貌格局,从而对表层系统的结构和过程产生影响.开展深部过程如何影响表层地球系统的研究有助于将表层系统的生物地球化学和水文生态过程放在一个更大的空间格局和深时背景下,理解地球生命支撑系统的组成、结构、过程与功能的形成与协同演化,及其对气候变化和人类活动的响应,并最终预测表层地球系统的未来变化.

3 发展前景

表层地球是地球深部与大气圈等地球表层圈层之间相互作用的关联界面,相互作用出现在地球关键带的多种过程中,且大多与地形及其变化有关.未来应着重探索地形变化的驱动机制(包括地球深部过程、地表物理—生物—化学过程、气候等)和生态环境效应.比如,造山运动对生物多样性的影响,造山过程改变了局部和区域气候,造就了多种环境单元,为外来物种的迁移生存、新物种的形成以及物种演化创造了条件(Antonelli *et al.*, 2018),但对生物多样性的演化和分布与山地形成的关系,我们知之甚少.再如,全球气候变化条件下,地形及地形变化在陆地—大气互馈过程、陆地—冰川相互作用、海岸和旱区过程、生态环境的形成以及生态系统结构中所起作用等方面的研究才刚刚起步,而这些探索将对理解地质时期和未来地球宜居性具有重要的借鉴意义.

新技术的发展在科学前沿研究中发挥重要的助推作用,应关注并探索新技术在表层地球系统研究中的交叉应用,比如:(1)新型地球物理探测、空间对地观测与表层生物地球化学,水文生态观测相结合,提高对表层系统的组成、结构、过程和功能的定量分析和预测能力.比如,激光雷达扫描可以快速获取高分辨率地形数据,以及多时相观测能有效刻画地形和植被的变化.近地表地球物理探测可有效揭示地下结构,如基岩裂隙密度和土壤孔隙度,风化岩石的含水量和季节性地下水位等特征的空

间异质性.(2)稀有气体地球化学、热年代学、宇宙成因核素和簇同位素等技术的发展可有效提升刻画地球表面动态过程(如侵蚀、剥蚀、抬升和沉降速率)的能力.(3)地质测年技术,如各种同位素测年和光释光测年在精度和准确度方面的提高为示踪过去环境记录提供所必需的时间框架,将更好地约束环境变化的绝对年龄和变化速度.

参考文献

- Anderson, R.S., Rajaram, H., Anderson, S.P., 2019. Climate Driven Coevolution of Weathering Profiles and Hillslope Topography Generates Dramatic Differences in Critical Zone Architecture. *Hydrological Processes*, 33(1): 4–19. <https://doi.org/10.1002/hyp.13307>
- Antonelli, A., Kissling, W.D., Flantua, S.G.A., et al., 2018. Geological and Climatic Influences on Mountain Biodiversity. *Nature Geoscience*, 11(10): 718–725. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0236-z>
- Badgley, C., 2010. Tectonics, Topography, and Mammalian Diversity. *Ecography*, 33(2): 220–231. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2010.06282.x>
- Davies, N.S., Gibling, M.R., 2010. Cambrian to Devonian Evolution of Alluvial Systems: The Sedimentological Impact of the Earliest Land Plants. *Earth-Science Reviews*, 98(3/4): 171–200. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.11.002>
- NRC (National Research Council), 2001. Basic Research Opportunities in Earth Science. National Academy Press, Washington, D.C..
- Riebe, C.S., Hahm, W.J., Brantley, S.L., 2017. Controls on Deep Critical Zone Architecture: A Historical Review and Four Testable Hypotheses. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(1): 128–156. <https://doi.org/10.1002/esp.4052>
- St Clair, J., Moon, S., Holbrook, W.S., et al., 2015. Geophysical Imaging Reveals Topographic Stress Control of Bedrock Weathering. *Science*, 350(6260): 534–538. <https://doi.org/10.1126/science.aab2210>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., et al., 2020. The Emergence and Evolution of Earth System Science. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(1): 54–63. <https://doi.org/10.1038/s43017-019-0005-6>
- 刘丛强, 2019. 表层地球系统科学与可持续发展.“焕庸地理大讲堂”系列学术报告, 2019年5月20日.
- 刘静, 张金玉, 葛玉魁, 等, 2018. 构造地貌学: 构造—气候—地表过程相互作用的交叉研究. *科学通报*, 63(30): 3070–3088.