中国科学: 地球科学 2023 年 第 53 卷 第 8 期: 1930 ~ 1932
SCIENTIA SINICA Terrae earthcn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

点 评

板块离散-汇聚耦合体系及大陆造山带动力机制

肖文交*

中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011
* 通讯作者, E-mail: wj-xiao@mail.iggcas.ac.cn

收稿日期: 2023-06-12; 收修改稿日期: 2023-07-03; 接受日期: 2023-07-04; 网络版发表日期: 2023-07-17

板块构造理论自二十世纪六七十年代诞生以来, 对全球构造的认识从“固定论”转变为“活动论”, 被誉为地球科学的一场革命(Vine, 1966; Dewey和Bird, 1970). 板块构造理论基本理论框架认为, 地球表层可以划分为若干刚性岩石圈板块, 它们在韧性软流圈上发生相对运动, 并沿离散、汇聚和转换边界发生变形、地震、变质和岩浆作用(Wilson, 1966; McKenzie和Parker, 1967). 作为承载板块活动最典型的场所, 大陆造山带被重新厘定为板块汇聚过程的产物(Dewey和Bird, 1970; Şengör, 1987; 郑永飞等, 2022). 板块构造理论不仅为不同地质作用和过程提供了一个统一的理论格架, 而且在过去的半个多世纪中得到了长足的发展, 已经将一些动力学要素融入这个全球构造的运动学理论(郑永飞, 2023).

然而, 涉及板块构造理论的一些重大科学基础问题, 在20世纪尚未得到系统解决. 例如, 在解释圈层相互作用尤其是岩石圈与软流圈之间相互作用等方面尚存在重大争议, 特别是对板块构造驱动力及起源等重大科学问题缺乏系统性认识(Hayashi等, 2000; Condie和Kröner, 2008; Bercovici和Ricard, 2014; Niu, 2016). 同时, 在解剖大陆造山带结构及形成机制方面, 板块构造理论过多地强调单一板块边界类型, 仅注重板块挤压对造山带的贡献, 提出了众多成因类型模式(Isozaki, 1997; 李继亮等, 1999; Cawood等, 2009). 导致这些现状的原因很多, 但主要在于以往有关板块构造的框架理论多来源于离散、汇聚和转换边界的独立研究成果, 鲜有研究将三者有机结合起来进行系统解读板块运动机制及其表现过程.

因此, 急需将板块构造理论作为全球构造的一个运动学理论整体发展起来, 并将若干动力学解释融入其中, 使板块构造理论真正成为认识圈层相互作用, 特别是岩石圈与软流圈之间相互作用的主导理论, 以及认识地壳与地幔之间物理化学交换的支柱理论. 这方面的研究一直是国际学术界的前沿热点, 但也是十分困难、尚未取得系统突破的研究领域. 正是在这个背景下, 郑永飞(2023)对上述前沿热点难题展开系统分析与讨论, 阐述了有关板块构造一些重大基础理论框架方面所取得的重大突破.

郑永飞(2023)系统概述了板块构造理论半个世纪以来的发展历程, 梳理了岩石圈与软流圈之间沿板块边缘物质运动和能量传递与动力体制和地温梯度之间的时空对应关系. 他将板块构造的运动学-动力学行为归纳为两大类: 一是岩石圈重力驱动的自上而下运动, 二是软流圈浮力驱动的自下而上运动. 两类行为在时间和空间上相互对应、相辅相成, 由此将板块构造从传统的运动学理论升级为一个运动学-动力学整合理论. 郑永飞(2023)强调, 海底扩张过程兼具横向和纵向运动, 并且新生大洋岩石圈侧向扩张与软流圈衍生岩浆垂向上升之间在时间和空间上互相耦合.

板块构造驱动力问题一直是国际学术界关注但是

中文引用格式: 肖文交. 2023. 板块离散-汇聚耦合体系及大陆造山带动力机制. 中国科学: 地球科学, 53(8): 1930–1932, doi: 10.1360/SSTe-2023-0118
英文引用格式: Xiao W. 2023. Plate divergent-convergent coupling system and dynamic mechanism of continental orogenic belts. Science China Earth Sciences, 66(8): 1909–1912, https://doi.org/10.1007/s11430-023-1137-0

© 2023 《中国科学》杂志社

尚未取得共识的前沿. 在板块构造学说提出初期, 地幔对流被认为是板块整体横向运动的关键驱动力(McKenzie和Parker, 1967; Morgan, 1968). 目前的学界则有不同认识, 主要由地幔对流、洋中脊推力、俯冲拖曳力、矿物相变、地幔柱驱动、地外驱动等多种驱动机制(Conrad和Lithgow-Bertelloni, 2002; 李三忠等, 2019; 孙卫东, 2019). 在这个问题上, 郑永飞(2023)取得了重要突破, 认为在板块构造作用的不同阶段、不同过程中, 存在动力学联动演变特征. 他指出, 在大洋岩石圈俯冲到60~80km深度之前, 洋壳尚未发生榴辉岩化, 海底扩张尚不能通过板片重力下沉的远程应力得以进行. 在这种情况下, 大陆裂解的扩张推力才是板块碰撞乃至浅俯冲的主要驱动力. 当俯冲大洋岩石圈在进入80~160km的弧下深度之后, 洋壳发生榴辉岩化引起密度增加, 由此产生的重力下沉不仅是板块继续俯冲的主要驱动力, 而且是海底扩张的主导驱动力.

在板块构造驱动力认识取得新突破基础上, 结合对比大西洋两侧被动大陆边缘和太平洋两侧活动大陆边缘地质记录, 郑永飞(2023)指出板块运行沿地球外壳组成一系列板块离散-汇聚耦合体系. 运动板块一端新生洋脊的推力与其另一端俯冲大洋板片拉力之间在时间和空间上都处于耦合状态, 构成了一个耦合的板块离散-汇聚体系. 在离散-汇聚耦合体系中, 板块构造主要以两种方式运行, 一是裂解-碰撞耦合体系(图1a), 二是扩张-俯冲耦合体系(图1b). 板块产生和消亡之间在球形地球表面是否达到和保持质量-动量守恒, 从而形成一系列板块离散-汇聚耦合体系, 是衡量板块构造启动和运行的关键.

郑永飞(2023)进而运用离散-汇聚耦合体系来解剖大陆构造特别是大陆造山带的形成演化机制. 大陆造山带形成和演化是板块构造和大陆动力学的重要记录器(Dewey和Horsfield, 1970; Molnar, 1988; 肖文交等, 2017). 然而, 地质过程和产物在现今和过去板块边缘发生了时空叠加, 导致了大陆构造的复杂化. 因而, 大陆造山带结构、过程及形成机制是固体地球科学领域前沿热点和难点问题(肖文交等, 2019; 郑永飞等, 2022), 目前存在陆内、俯冲、碰撞等不同认识(Cawood等, 2009), 还没有从全球大地构造与地质过程时空关系等层面来系统探索大陆造山带的动力学机制.

郑永飞(2023)创新性地指出, 汇聚板块边缘造山作用可以通过以下六种机制实现(图2): (1) 从俯冲大洋板块刮削下来的地壳物质向活动大陆边缘的横向增生; (2) 镁铁质岩浆沿活动大陆边缘的垂直增生; (3) 被动和活动大陆边缘地壳的碰撞加厚; (4) 不同大小地壳岩片向被动大陆边缘的逆掩推覆; (5) 长英质岩浆在大陆地区的垂直增生; (6) 变质核杂岩沿过去板块边缘上升侵位形成穹窿-龙骨结构. 同时进一步指出, 第一和第二种机制形成增生造山带, 第三和第四种机制形成碰撞造山带, 这四种方式都发生在汇聚板块边缘. 与此相比, 第五和第六种机制出现在陆内环境, 形成陆内造山带, 但实际上是发生在过去的板块边缘, 相关过程以高地温梯度下的变质作用和长英质成分主导的岩浆作用为特征. 郑永飞(2023)还就大陆造山带的时空关系识别展开了系统讨论, 指出对于这六种机制形

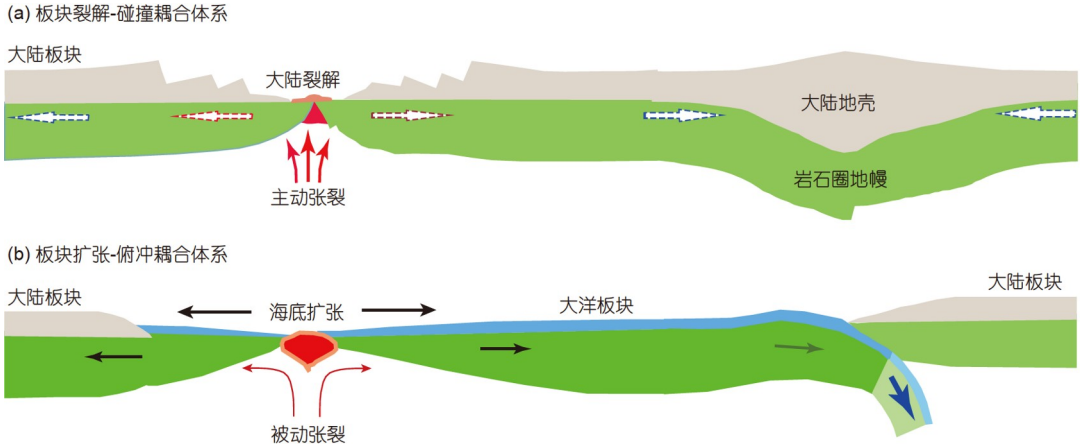


图 1　板块离散-汇聚耦合体系运行示意图

据郑永飞(2023)

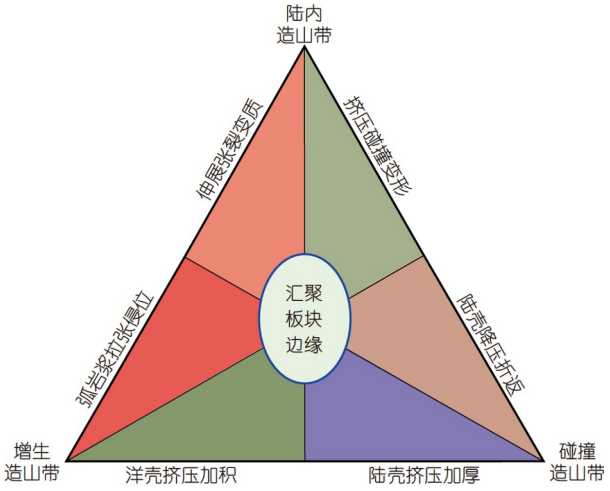


图 2　汇聚板块边缘造山带形成的动力机制

据郑永飞(2023)

成的造山带来说, 它们之间的时空关系可以通过不同类型变质岩和岩浆岩的地质特征来识别.

郑永飞(2023)的这篇论文蕴含了丰富的板块构造创新成果, 为认识板块构造理论的内涵和板块构造理论的发展提供了新的视角. 郑永飞(2023)认为, 板块构造的本质就是球形地球表面一系列离散-汇聚耦合体系的运行; 板块构造的启动和运行分别对应于一系列板块离散-汇聚耦合体系的创建和维持. 尽管现代地球主板块之间的活动带全球网络十分常见, 但如果早期地球上是以微板块运行为主, 那么要发现这一地质时期由板块边界组成的活动带网络具有全球性链接的地质记录还是很困难的. 因此, 鉴定板块构造在地球上留下不同类型的地质记录, 并对地质学、地球化学和地球物理学记录进行综合解释和理论集成, 是区分不同地质时期板块构造活动性质和发展板块构造理论的关键. 郑永飞(2023)的这些创新性认识和观点深化了板块构造理论的基本原理及其地质学应用, 特别是为解剖岩石圈板块通过复杂相互作用而发生各类造山作用形成机制奠定了重要理论基础.

参考文献

李继亮, 孙枢, 郝杰, 陈海泓, 侯泉林, 肖文交. 1999. 论碰撞造山带的分类. 地质科学, 34: 129–138

李三忠, 王光增, 索艳慧, 李玺瑶, 戴黎明, 刘一鸣, 周洁, 郭玲莉, 刘永江, 张国伟. 2019. 板块驱动力: 问题本源与本质. 大地构造与成矿学, 43: 605–643

孙卫东. 2019. “岩浆引擎”与板块运动驱动力. 科学通报, 64: 2988–3006

肖文交, 敖松坚, 杨磊, 韩春明, 万博, 张继恩, 张志勇, 李睿, 陈振宇, 宋帅华. 2017. 喜马拉雅汇聚带结构-属性解剖及印度-欧亚大陆最终拼贴格局. 中国科学: 地球科学, 47: 631–656

肖文交, 李继亮, 宋东方, 韩春明, 万博, 张继恩, 张志勇. 2019. 增生型造山带结构解析与时空制约. 地球科学, 44: 1661–1687

郑永飞, 陈伊翔, 陈仁旭, 戴立群. 2022. 汇聚板块边缘构造演化及其地质效应. 中国科学: 地球科学, 52: 1213–1242

郑永飞. 2023. 21世纪板块构造. 中国科学: 地球科学, 53: 1–40

Bercovici D, Ricard Y. 2014. Plate tectonics, damage and inheritance. Nature, 508: 513–516

Conrad C P, Lithgow-Bertelloni C. 2002. How mantle slabs drive plate tectonics. Science, 298: 207–209

Cawood P A, Kröner A, Collins W J, Kusky T M, Mooney W D, Windley B F. 2009. Accretionary orogens through Earth history. Geol Soc Lond Spec Publ, 318: 1–36

Condie K C, Kröner A. 2008. When did plate tectonics begin? Evidence from the geologic record. In: Condie K C, Pease V, eds. When Did Plate Tectonics Begin? Geological Society of America, Memoir 440, Boulder, Colorado

Dewey J F, Bird J M. 1970. Mountain belts and the new global tectonics. J Geophys Res, 75: 2625–2647

Dewey J F, Horsfield B. 1970. Plate tectonics, orogeny and continental growth. Nature, 225: 521–525

Hayashi M, Komiya T, Nakamura Y, Maruyama S. 2000. Archean regional metamorphism of the Isua supracrustal belt, Southern West Greenland: Implications for a driving force for Archean plate tectonics. Int Geol Rev, 42: 1055–1115

Isozaki Y. 1997. Contrasting two types of orogen in Permo-Triassic Japan: Accretionary versus collisional. Isl Arc, 6: 2–24

McKenzie D P, Parker R L. 1967. The North Pacific: An example of tectonics on a sphere. Nature, 216: 1276–1280

Molnar P. 1988. Continental tectonics in the aftermath of plate tectonics. Nature, 335: 131–137

Morgan W J. 1968. Rises, trenches, great faults, and crustal blocks. J Geophys Res, 73: 1959–1982

Niu Y. 2016. Testing the geologically testable hypothesis on subduction initiation. Sci Bull, 61: 1231–1235

Şengör A M C. 1987. Geology: East Asian tectonic collage. Nature, 318: 16–17

Vine F J. 1966. Spreading of the ocean floor: New evidence. Science, 154: 1405–1415

Wilson J T. 1966. Did the Atlantic close and then re-open? Nature, 211: 676–681

(责任编委: 朱茂炎)