

《华北克拉通破坏》：多学科融通、十年磨一剑

徐义刚

中国科学院广州地球化学研究所, 广州 510640

E-mail: yigangxu@gig.ac.cn

Destruction of the North China Craton: Multidisciplinary efforts over past ten years

Yigang Xu

Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

E-mail: yigangxu@gig.ac.cn

doi: 10.1360/TB-2020-1144

30年前读研究生时,我第一次接触到克拉通型岩石圈地幔,知道它以强烈亏损易熔组分、低密度、低地温梯度为主要特征。当时还没有铷-锶同位素定年技术,但科学家用钐-钕法对南非金伯利岩金刚石中石榴石和单斜辉石包裹体定年首次获得了30多亿年的年龄,因此克拉通下岩石圈地幔的长期稳定性给我留下了极为深刻的印象。两年后,我在北京参加了由丛柏林和刘若新先生主办的“International Symposium on Cenozoic Volcanic Rocks and Deep-seated Xenoliths from China and its Environs”国际学术研讨会,首次听到克拉通下岩石圈可发生巨幅减薄的新观点。也正是从那时起,全球深部岩石圈研究进入了一个“sub-continental lithosphere mantle is not forever”的时代,而“华北克拉通破坏”无疑是大背景下深部地质研究中最耀眼的成果之一。据 Goldschmidt 奖得主 Rick Carlson 语:华北东部是世界上克拉通破坏的典型。

早年的华北克拉通岩石圈的巨幅减薄以及现在的克拉通破坏思想的起源可追溯到翁文灏先生的燕山运动和陈国达先生的地台活化。但华北岩石圈演化研究真正进入研究高潮是在20世纪80~90年代。经几代学者的不懈努力,到21世纪初,全面积累了有关这个地区大陆岩石圈减薄、置换、转型的证据,但同时也意识到还有许多更深层次的科学问题需要回答:克拉通破坏的本质是什么?华北克拉通岩石圈减薄是一个区域的特殊现象还是具有普遍全球意义?它在全球大陆演化中的意义如何?在这些重大科学问题的牵引下,国家自然科学基金委员会“华北克拉通破坏”重大研究计划于2007年应运而生。经过近10年多学科的系统性研究,取得了一大批创新性认识。朱日祥等人著的《华北克拉通破坏》一书,就是对这些成果的系统总结

和提炼,包括华北克拉通物理化学性质、地壳-上地幔结构、岩浆作用、构造演化、成矿效应和破坏机制等。该书的第一章从基底构造格局、早期陆壳生长与克拉通化以及稳定阶段的岩浆-沉积作用等方面论述了华北克拉通的形成与稳定阶段的演化历史。第二至第四章分别叙述了华北克拉通破坏的浅部地质特征和过程、克拉通破坏的岩石地球化学证据,以及地壳-上地幔结构与克拉通破坏空间范围。第五章讨论了克拉通破坏的成矿效应。第六章总结和概括了克拉通破坏的地质、地球物理和地球化学证据,分析了华北克拉通破坏与古太平洋板块俯冲的关联,讨论了克拉通破坏机制,简要说明了“克拉通破坏”的动力学背景与本质。

全书洋洋洒洒84万字,资料丰富、内涵深刻、亮点颇多,但最让我印象深刻的几个特点是:

(1) 从岩石圈减薄到克拉通破坏。早期研究揭示华北克拉通下岩石圈地幔的厚度从奥陶纪时的>200 km减薄至现在的60~80 km,地温梯度也从原先的克拉通型低地温转变为现在的大洋型高地温。事实上,克拉通岩石圈减薄并非华北独有,印度克拉通和西伯利亚克拉通也同样经历了岩石圈的减薄,因此减薄是克拉通演化过程中经常出现的一种地质现象。后来的研究发现,华北岩石圈地幔由饱满型二辉橄榄岩组成,而不是古老克拉通下常见的强亏损方辉橄榄岩,说明该地区下岩石圈地幔并非仅仅发生了减薄,而且其性质也发生了置换,同时还伴随着大规模的岩浆活动(玄武岩与花岗岩)、强烈的地壳构造变形(变质核杂岩与伸展和走滑构造)和频繁的地震活动。与华北克拉通不同的是,尽管印度和西伯利亚克拉通都发生了岩石圈的减薄,但两者岩石圈地幔属性都未发生显著变化,即克拉通岩石

圈减薄但未被破坏。由此表明,岩石圈减薄并不是克拉通破坏的充分条件。从岩石圈减薄到克拉通破坏的学术思想的转变,是大陆岩石圈演化研究一个里程碑式的进步,也深刻地诠释了深部过程对浅部地质演化的控制作用。

(2) 从论证华北克拉通破坏的证据向论证破坏的本质。如果说早期的研究是在不断地积累华北克拉通破坏的证据,那么“华北克拉通破坏”计划则重在揭示克拉通破坏的本质,是从深部过程到浅部地质演化研究的生动实践。这项工作已经突破了原先的自下而上的热侵蚀和自上而下的拆沉之间的争论,揭示出俯冲古太平洋板块的脱水、脱碳及相关的熔体广泛而强烈地交代上覆地幔是克拉通破坏的必要条件。这一过程不仅可使大地幔楔内发生部分熔融而产生广泛的富挥发分岩浆,更重要的是使岩石圈地幔失去原有的刚性与稳定性特质,从而导致稳定性整体丧失。

(3) 从区域地质演化到全球大陆演化问题。以前的研究把大陆如何保存作为重要科学问题,而克拉通破坏研究开始重视大陆地壳或岩石圈在演化过程中是如何破坏和消失的。研究发现,这一地球动力学过程曾经在地球的演变历史上多次发生过。大陆在初始形成后发生聚合及克拉通化,进而趋于稳定,但这并不是大陆演化的终结。在受到周边大洋板块俯冲作用的影响时,克拉通会发生破坏;待深部地幔恢复到正常状态时,上部的大陆又趋于稳定,完成一次新的克拉通化过程。大洋板块的俯冲可破坏相邻克拉通的稳定性,导致去克拉通化地质事件的发生,新一轮热构造过程重新开始。因此,克拉通破坏在全球大陆演化过程中可能普遍存在,对认识全球大陆的形成和演化有重要意义。

21 世纪地球科学的突破点在地球系统科学,也就是要整合固体地球和流体地球的不同层圈。但这种整合的科学思维以及不同学科间的交叉融通并不简单。由于受评价体系和其他因素的影响,我国科技工作者多习惯于小作坊式的研究方式,而像“华北克拉通破坏”重大研究计划这样的大项目,涉及地质学、地球化学、岩石学、年代学、地球物理、地球动力学、矿床学、高温高压模拟、地震学等不同学科,参研人员超过 500 名。如何将一支有不同学科组成的队伍有效地组织起来,闯出一条集团军“协同作战”的新路不仅是一个考验,更是一门学问。我有幸参与了这个重大研究计划的部分工作,亲历了计划的启动、实施和验收等数十次会议,研究团队成员间的质疑、争论、相互启发是工作常态,深感团队协作、学科交叉融通需要贯彻到日常工作中。从这意义上说,“华北克拉通破坏”重大研究计划的实施无疑是一次有益探索,为后续大型综合性科研项目的实施积累了许多可以借鉴的经验。

20 世纪板块构造理论的科学突破贯通了造山运动、地震带、火山带、岛弧、洋脊、大陆与海洋的分布等千头万绪的地质现象,建立了岩石圈尺度的地球运行理论体系,是地球科学的一场革命。如今,向深地进军已上升为国家战略,深地科学是贯通地球系统中深部和浅层之间联系的潜在突破口。如果地表科学受限于国土疆域,但到了深部将不受国界的局限,属全人类所共享。只有靠科学知识的探索追求,才是真正的拥有。“华北克拉通破坏”是深地科学研究的一个成功案例。《华北克拉通破坏》的出版,必将鼓舞并激励国内同行在这个地球科学理论突破的重大机遇期不断地作出中国人的贡献。