

《地球系统与演变》：未来地球科学的脉络

郭正堂^{1,2}

1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029;

2. 中国科学院大学, 北京 100049

E-mail: ztguo@mail.iggcas.ac.cn

Earth System and Evolution: A future frame of Earth Sciences

Zhengtang Guo^{1,2}

¹Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China;

²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

E-mail: ztguo@mail.iggcas.ac.cn

doi: 10.1360/N972019-00088

可能源于科学自身的规律, 地球科学的主旋律每隔二三十年就会发生一次大变革. 二十世纪六七十年代以地球固体圈层运动规律为主攻对象的板块构造研究, 导致板块理论的诞生, 被认为是可与相对论、量子力学和分子生物学的产生相提并论的自然科学重大突破, 也极大地推动了矿产资源和灾害等问题的解决. 20 世纪 80 年代开始的全球变化研究, 是地球科学的另一主旋律. 它主要以地表流体圈层的运动规律为研究对象, 旨在解决日益突出的环境问题, 但至今尚未出现可与板块构造理论相媲美的科学飞跃.

这使越来越多的学者意识到, 仅研究地表圈层过程可能无法从根本上解决人类面临的环境问题; 整合地球所有圈层的关联过程和机制, 才是解决问题的根本出路. 近年来, 国际科学界提出的一些战略研究报告, 强调“地球内部运行与地表环境的可居住性”、“宜居行星动力学”、“深部过程对表层环境的影响”等主题. 它们各自的侧重点虽有不同, 但倡导的一个共同科学目标是理解从地质尺度到人类尺度上, 联系地球各个系统变化的物理、化学、生命和地质过程与机制. 这正是当前地球科学又在酝酿的新变革, 也极可能是地球科学下一个重大理论的突破口. 换言之, 地球科学的又一个主旋律正在响起.

汪品先等著的《地球系统与演变》一书, 展示的正是这个主旋律的脉络. 全书贯穿着地球所有圈层相互作用的思想, 是对地球系统科学概念的正本清源. 虽然美国航空航天局在 1983 年就提出“地球系统科学”的概念, 全球变化研究亦被作为地球系统科学的范式研究, 考虑了碳循环的气候系统模式即被称作地球系统模式, 但越来越多的学者认为, 早期的“地球系统”概念主要指地球表层系统; 而这

种强调地球所有“圈层动力过程整合”的地球科学研究, 才是真正意义的地球系统科学, 是地球科学未来面临的新挑战.

新挑战首先要求科学理念的变革. 由于板块构造和全球变化研究已分别在地球固体和流体圈层的分时间尺度和分圈层过程整合方面取得长足进展, 打破时空尺度的、穿越固体-流体圈层的“跨维过程整合”就成为未来挑战中的挑战. 《地球系统与演变》一书采用较大篇幅阐述“跨越时间尺度的现象”和“穿越空间圈层的交换”, 体现的正是这种“跨维整合”的科学思想与科学理念. 跨维整合也要求地球科学方法学的变革, 即从单一学科的研究真正转向多学科交叉研究, 从定性研究转向量化的过程研究, 从相对独立的数据观测和数值模拟研究转向以新数据获取和大数据支撑的“数据-模式驱使科学(data/model-enabled science)”. 《地球系统与演变》一书的第 11 和 12 章, 强调的正是这样一种势在必行的科学方法学变革.

从书中呈现的知识体系可以看出, 大气-海洋的数值模型发展相对成熟. 由于过程和机制的复杂性及观察技术与计算能力等限制, 固体和深部地球的数值模型目前仍相对零散. 通过发展深地探测及计算能力, 在全球尺度上整合和构建深部与固体地球的数值模型, 是地球科学一项十分紧迫的阶段性任务. 板块驱动机制、生命与环境的关系等科学难题的解决, 都离不开此类大型数值模型的帮助.

从更长远的角度, 我们也可以预见, 在圈层动力过程整合的新时代, 哪些国家能真正形成“数据-模式驱使科学”研究体系, 率先构建出以新数据获取和大数据支撑的、全面耦合地球固体和流体圈层过程的先进数值模型系统, 哪些国家就有望成为未来地球科学的引领者和下一个新理

论的主要贡献者。

圈层动力过程整合的目标之一是理解宜居地球的形成演变和未来趋势。30多年的全球变化研究,使人类对气候-环境系统的认识取得了许多重要的进展。但未来的研究依然任重道远。

正如《地球系统与演变》一书所强调,当我们还没有真正弄清为什么太阳系的3个孪生兄弟——火星、金星和地球在“出生”时完全一样,后来却分道扬镳,分别演化成“冰球”、“火球”和宜居行星;还没有理解为什么地球历史上一些小幅度的太阳辐射或大气 CO_2 浓度变化导致了“大气候效应”,而另一些大幅度的辐射或 CO_2 变化只引起“小气候效应”;还未能明白为什么“冰室”和“温室”地球会不停地转换的时候,就不能说我们对地球的气候-环境系统已经有了足够的理解;现有的不少看法就不是真正确定的科学认识,也就难以准确评估宜居地球的未来演变。与经济社会变革密切相关的未来人类活动营力的难以预见性,更增加了这种不确定性。

诸如此类的认识不足,在许多时候被我们以“尺度不同”为借口而回避掩饰。《地球系统与演变》一书在介绍成熟知识体系的同时,深刻地剖析和展示了这些不确定性。

它提示我们,通过圈层动力过程的跨维整合来研究地球所有圈层的关联过程和机制,解剖那些时间和空间“尺度不同”所导致的不同,是认识宜居地球未来趋势的一大关键。

描述地球轨道变化与气候变化关系的米兰科维奇理论,是地球科学迄今唯一的定量化理论,是现代古气候学的根基。但我国古环境研究的青年队伍却“两极分化”:较大数量的学者只研究构造时间尺度的环境演化,远超半数的学者只探究全新世。相比之下,真正擅长轨道尺度变率、特别是多尺度变率研究的人才明显偏少,不利于未来打破时间尺度的圈层动力过程整合。《地球系统与演变》的第7和8章,是对米兰科维奇理论及其内涵发展的系统梳理、剖析和展望,无疑会助力提升我国在气候系统历史研究领域的整体实力。

回顾科学发展的历程不难看出,科技创新战略的本质是人才战略,而人才战略的核心在于教育。在祝贺一些正在使用的教科书和教学参考书“五十大寿”甚至“年过花甲”的同时,我们也禁不住为《地球系统与演变》的出版拍手叫好。因为这是一部面向地球科学未来的大作,必将有力地推动我国地球系统科学的发展和人才培养,促进中国的地球科学真正进入学术引领的新时代。