

关于中国大陆地质与大陆构造基础研究的思考*

张国伟 郭安林 姚安平

西北大学大陆动力学国家重点实验室, 地质系, 西安 710069

摘要 作为全球大陆重要组成部分, 中国大陆长期所处的全球特殊构造部位和深部地球动力学背景使其经历了世界其他大陆所未曾有过的极端复杂条件, 从而造就了它全球共性中的独有的地域性特征. 这些特征赋存有当代地学发展前沿重大科学命题的丰富信息. 因此, 中国大陆地质与大陆构造成为当代地学研究得天独厚的天然实验室和良好场所, 是科学研究不可多得的宝贵资源. 当代地球科学已开始进入地球系统科学与后板块构造时代, 如何充分利用我国这一地域优势和特有资源, 参与国际地学发展和创建新的地球构造观及相关理论与方法已是我们面对的历史机遇和重大挑战. 文中在综合分析中国大陆全球共性中的特殊性基础上, 概括提出4类优先研究的中国大陆地质与大陆构造关键科学问题: 中国大陆构造与大陆动力学研究; 中生代中国大陆及邻区地壳变形及其深部过程; 人类生存尺度的地壳构造活动及其深部动力学背景与演变趋势; 中国大陆不同构造系统的交接转换和深部背景与演变过程, 供地学界讨论参考.

关键词 中国大陆地质与大陆构造 板块构造 大陆动力学 新地球观 关键科学问题

1 国内外地学发展动态与思考

当代地球科学正面临着发展的重大机遇和新的挑战. 一方面人类社会可持续发展问题对地学提出了新的要求. 另一方面, 地球科学在20世纪发展的基础上, 正处于创建新的地学理论的重要时期. 新世纪地球科学的进步, 需要从整体上动态地认识与研究地球, 构建地球系统科学, 建立新的地学知识体系和技术方法, 创建囊括板块构造在内的新的地球观和构造观^[1]. 这一地球科学发展的时代特征, 使得固体地球科学中全球变化、大陆地质与深部地质和地球动力学研究成为当代地学的前沿领域. 固体地球科学作为地球科学中具有综合、辐射和推动作用的主要基础学科, 正处在新的活跃发展时期.

20世纪下半叶以来, 国际地学界在全球变化、地球系统科学、大陆动力学、大洋动力学和地球动力学等地学前沿领域实施了多项国际研究计划, 并取得了重大进展. 以美国为代表的世界发达国家制定了21世纪地学发展战略, 占领制高点并进行重点研究, 从上世纪后期至今美国相继提出“固体地球科学与社会”(1993)、“大陆动力学”(1990年开始为期30年计划)、“地球科学基础研究机遇”(2001)^[1]、“构造地质与大地构造的新航程”(2002)^[2]等一系列专门咨询报告, 并实施了开创性的研究计划, 诸如大陆动力学核心计划、地球探测计划(EarthScope, 包括USArray, SAFOD, PBO, InSAR 4部分)、天然实验室计划等, 以及欧洲的探测计划和澳大利亚的“玻璃地球计划”、加拿大“勘查与科学”、国际深海科学钻探(DSDP, 1968—1983; ODP, 1985—2003)和新开始的大洋

2005-10-20 收稿, 2006-03-13 收修改稿

* 国家自然科学基金重点项目资助(批准号: 40234041)

E-mail: gwzhang@nwnu.edu.cn

1) 国土资源部信息中心. 地球科学基础研究的机遇-国土资源战略研究参考资料(4). 2001

综合钻探计划(IODP)¹⁾[3-5]、国际上关于全球变化的四大研究计划(WCRP, IGBP, IHDP, DIVERSITAS)等²⁾。这些标志着发达国家和国际地学界正以整体行星地球观从内核到外层空间、从微观到宏观探索不同时空、层次环境下的地球物质在复杂和极端条件下的物理、化学和生物综合作用过程及其效应和演化趋势,而这些探索中正孕育着新的发现和理论的突破。

在上世纪板块构造登陆及其应用检验的基础上,大陆动力学应运而生。在大陆动力学探索过程中,新近超越板块构造的新思维又崭露头角,包括流变作用与大陆造山作用,大地构造与地表系统互动作用,构造与生命演化,从瞬时快速弹性变动到漫长造山作用永久变形间联系的综合研究等新观点和新思路,标志着构造地质和大地构造学研究,正在从板块构造理论观念向着超越板块构造、建立新的行星地球构造观与理论的方向发展。可以说,我们已开始进入后板块构造时代并处于新的行星地球构造理论诞生的前夜^[1-3,5-10]。但这并不意味着对板块构造理论的否定(在现今与今后相当时期中,板块构造理论仍是国际地学界占主导的学术指导思想),而恰是在发展与深化板块构造的基础上,创建包括板块构造理论在内的更高层次的地球构造理论与方法。

我国固体地球科学尤其是构造地质学与大地构造学经历了上世纪50—60年代学派竞争活跃发展、60—70年代文革时期的沉寂、70—80年代追踪国际地学发展及广泛应用板块构造解读中国大陆与海域地质与构造,到80—90年代在国家改革开放环境下,重点在对中国大陆与海域地质与构造研究基础上,逐步突破模仿与追踪的局限,开始从中国实际出发,对比全球,进行原创性探索。所以如果说由于社会政治原因未参与板块构造建立的国际地学发展的话,则现今我国已有条件,并已参与到创建新的理论的当代地学发展之中。我国具有得天独厚的地域优势,赋存有丰富的地学发展前缘领域科学信息。我国已有配套的地学建制、装备和研究队伍,并有长期科学研究的大量积累。尤其在长期研

究积累和已有成果基础上,明确了具有当代地学发展前缘意义的我国大陆与海域地质与构造并能满足国家重大需求的关键科学问题,诸如青藏高原隆升与地壳增厚、东部岩石圈减薄,超高压岩石形成与折返,中国大陆构造与全球变化、新构造运动与环境、灾害,古生物演化,中国造山带与盆地系统及成矿成藏作用和大陆动力学等全球瞩目的问题,为新的创造性研究奠定了良好基础^[3,11]。

目前,我国在全球变化、黄土古气候以及地球生命与演化等研究方面处于世界前缘。但大陆地质及大陆构造研究如同我国地学现状一样^[3,11],与国际先进水平相比,整体上仍有较大差距,突出表现在:

(1) 学术思路比较保守和局限,缺乏具有全球视野与开创性活跃思维的多学科复合性高层次人才。因而研究模仿多且浮躁,缺少对大陆及其在全球构造中的独特意义的深入洞察、理解与高度综合概括。尤其近年来,在国家社会经济转型大环境下,缺乏艰苦实干与严谨精深的科学精神,缺少深入系统的野外实验室与基地立典式精细研究与持之以恒的钻研,因之造成缺乏原创性构造研究成果和国家急需的高水平研究型人才。

(2) 缺乏合理有效体制、机制培养创造性人才和促进高层次整合、集成研究。国家与各有关部门虽有丰富科学积累,但不能做到资源共享和部门间的携手配合。因之造成既缺少严谨求实的精深研究,又无高层次集成概括的状况。同时也不能合理地培养人才和最大限度地促进研究人员才能的发挥和升华,造成研究的低层次徘徊和巨大浪费。

(3) 投入不足,统筹不够,缺乏合理的地面、地下、海上与空间的长期稳定配套的基本地学监测、探测和科学积累,缺少地学长远战略储备与新技术方法研发,其结果制约我国地学的长远发展。

2 中国大陆地质与大陆构造的基本特征

对比全球构造,综合中国大陆地质和大陆构造的基本特征可概括具有以下全球共性中的突出特异性:

(1) 中国大陆是中、小多块体拼合的大陆;

1) NASA. Understanding Earth System Change, NASA's Earth Science Enterprise (ESE) Research Strategy for 2000—2010, 2000

2) IGBP 秘书处. 国际地圈生物计划: 全球变化与地球系统——一颗重负之下的行星, IGBP 科学丛书之四, 中文版编辑组译, 2001

(2) 中国大陆具有长期和多期活动性与相应深部过程及背景. 全球大陆保存演化存在两种状态: 稳定状态和非稳定状态. 前者如北欧波罗的、北美、澳大利亚和俄罗斯大陆等. 全球许多克拉通属于此类. 后者例子较少, 以中国大陆为典型代表, 即中国大陆是全球长期非稳定状态下保存演化的大陆;

(3) 中国大陆长期处于全球构造特殊部位, 即处在全球巨型大陆间如南北方大陆间拼合或裂解的交接地带和全球不同巨型构造动力学体系的复合交接部位, 如特提斯, 太平洋及古亚洲与中生代环西伯利亚等全球型构造动力学体系的复合地带;

(4) 中国大陆是全球复杂独特的陆壳构造区并集中突显全球独有或少有的地质现象. 因此中国大陆成为:

① 全球最广阔弥散型的陆壳构造变形域和宽广的地表活动带与中生代板内变形最为活跃的地区;

② 青藏高原隆升与地壳加厚造就全球最高的山脉, 最大的高原, 最厚的地壳与最显著的地形起伏区;

③ 全球最大的 UHP 岩石剥露区;

④ 具有非典型的克拉通岩石圈巨大减薄作用;

⑤ 广泛存在壳内与壳幔流变学分层的构造非耦合关系与状态;

⑥ 复杂独特的地质作用造成相应的构造岩相古地理与生态环境, 进而导致产生与保存生命与生物演化的特异过程;

⑦ 中国独特地质条件下的构造-岩浆-成矿作用与陆相、海相油气成藏及其最后定位等.

总之, 中国大陆呈现出的全球复杂地质系统中极端条件下的大陆地质构造及其地幔动力学与地球动力学的问题已不仅是单纯的地域性问题, 更重要的是包含大陆特性与行为研究在内的具有普遍意义的全球构造与动力学问题. 显然这已成为当代地学发展前沿领域即大陆动力学探索研究的核心课题. 因此, 中国大陆无疑是当代地球科学创新发展, 建立新的地球观和构造观及其相关理论和方法得天独厚的天然实验室与良好的研究场所.

我们应不失时机地确定我国大陆地质和大陆构造研究的战略目标. 从当代地球科学发展前缘与国家需求和中国大陆与海域地质和构造实际出发, 充分发挥地域优势, 突出中国大陆在全球共性中的特异性, 提炼和把握中国大陆与海域构造关键科学问题, 进行多科学密切结合的综合研究. 做到既有坚实、系统的精深研究, 又有高层次整合的集成综合概括, 以求有所新发现、有所新认识, 在理论高度上取得原始创新与突破, 满足国家重大需求, 参与国际地学发展与竞争, 为当代地球科学新构造观与新理论的创建做出中国应有贡献.

3 优先研究领域与关键科学问题

当代地球科学已开始进入地球系统科学与后板块构造时代¹⁾[2,6-9,12-16]. 如何充分利用我国得天独厚的地域优势和特有的地质资源, 参与国际地学发展与竞争是我们面对的重大课题. 在综合分析中国大陆与海域地质与构造基础上, 这里考虑下述四类关键科学问题可作为优先研究领域.

3.1 主要研究方向

(1) 当代地学发展前缘领域, 又能充分发挥我国地域优势的有关大陆地质与大陆构造的关键课题研究;

(2) 国家重大需求的资源、能源、环境、灾害等有关的地质与构造基础理论研究;

(3) 发展构造地质学—大地构造学的基本基础理论研究;

(4) 地学观测、测试、探测与实验、数理模拟研究及研发和科学与工程及长期稳定天然实验室与基地研究计划;

(5) 构造地质学—大地构造学人才培养.

3.2 优先研究领域与关键科学问题

3.2.1 中国大陆构造与大陆动力学研究 综上所述, 中国大陆具有全球共性中突出的独特性. 这些特性中包含了中国大陆构造多块体离散拼合、壳幔交换, 大陆长期非稳定状态保存演化, 岩石圈增厚减薄, 青藏高原隆升, 大陆深俯冲和UHP岩石形

1) Natural Environment Research Council (UK/NERC). Science for a sustainable future 2002-2007. 2002

成与折返,壳幔圈层耦合与非耦合关系,大陆流变作用,巨量岩浆与流体活动和成矿及中国地质条件下的陆相、海相油气地质与成藏,地表系统与构造作用等当代固体地球科学前沿热点问题.因此,我们需要从中国实际和全球构造与壳-幔-核时空四维多圈层地球系统整体思考,重点突出对大陆动力学问题的研究.从中国大陆构造探讨大陆的习性、行为及其物理、化学、生物作用过程与大陆流变等构造作用和大陆如何增生、消减、保存、演化及其成因与动力学.

主要关键科学问题:

- (1) 全球复杂地质系统中极端条件下的中国大陆地质与大陆构造及其地球动力学;
- (2) 中国大陆多块体离散拼合演化历史及其大陆动力学;
- (3) 中国大陆长期非稳定状态保存演化与深部过程;
- (4) 中国大陆主要演化阶段的岩石圈、地壳构造与演化及构造年代学研究;
- (5) 重大构造事件与地壳分离、拼合、转换的物理化学过程及生物效应;
- (6) 典型造山带与盆地精细研究和南海相油气地质理论与方法;
- (7) 中国大陆地壳增厚减薄作用与大陆构造流变学及其深层过程;
- (8) 多块体拼合大陆岩石圈非均质各向异性及其对大陆变形的控制作用与大陆变形;
- (9) 中国大陆壳内、壳幔耦合及脱耦关系与深部结构状态和构造动力学;
- (10) 中国大陆深部结构、状态及过程;
- (11) 中国大陆地球化学动力学与物质交换循环和构造作用;
- (12) 中国大陆构造作用与古环境及生物演化;
- (13) 大陆深俯冲与 UHP 岩石形成、拆返及其成因;
- (14) 中国大陆构造历史的恢复重建与全球构造的对比研究.

3.2.2 中生代中国及邻区大陆变形及其深部过程

中生代中国及邻区大陆构造是全球洋陆构造

交接转换与陆内构造作用的最好演示场与天然实验室,聚集着全球少有的特异地质现象,是公认的大陆构造与大陆动力学研究良好关键地区,是研究板块碰撞拼合后大陆构造运动与圈层相互作用及其动力学,成岩成矿、成山成盆、构造复合,中国大陆现今地表系统、新构造与地震、气候环境演变等的难得场所.我国应充分发挥地域优势,做出理论创新,并为我国社会可持续发展提供科学支撑依据.

主要关键科学问题:

- (1) 青藏高原隆升与地壳加厚及其动力学机制;
- (2) 东部岩石圈减薄、陆缘与海域构造和巨量岩浆活动与成矿作用;
- (3) 中生代中国大陆东、西部构造反转演变与统一深部过程及其对气候、地表生态环境影响;
- (4) 中生代陆内造山作用与多级盆山结构和大陆变形机理;
- (5) 陆内重要断裂构造、构造流变作用与年代学及其动力学过程;
- (6) 中国大陆中生代构造作用与成矿、成藏作用.

3.2.3 现代活动构造及其人类生存尺度效应和深部动力学背景及其演变趋势 全球变化具有自然与人为的地球多因素复杂非线性多重耦合系统的控制作用,其中地学,尤其构造作用是其基本控制因素.中国大陆特有的地表系统和活跃的构造作用,以及与高速发展的经济相关的人类活动是研究全球变化的关键地区,所以开展现代构造作用与全球变化关系的研究应是我国地学优先主要研究领域¹⁾[10,12,14-16].

主要关键科学问题:

- (1) 中国大陆新生代和现代构造活动的运动学与动力学研究和监测;
- (2) 中国大陆现代活动构造、板内变形与地震活动及火山作用;
- (3) 活动断裂、岩石变形与流体及地球化学作用研究;
- (4) 大陆浅源地震震源过程和地震成因的地质

1) NASA. Understanding Earth System Change, NASA's Earth Science Enterprise (ESE) Research Strategy for 2000-2010, 2000

和实验研究;

(5) 现代构造作用与灾害、生态环境及其人类生存尺度效应。

3.2.4 中国大陆不同构造系统的交接转换和深部背景与演变过程 中国大陆经历长期复杂的形成演化过程,时空上广泛存在多种不同构造动力学系统的交接、集结与转换,成为中国大陆构造陆壳结构与物质能量发散转换演化的重要形式,含有多种板块构造与洋陆转换和大陆分裂、增生、消减、保存、演化等结构再造重建和物质循环再分配等地球系统从内核到外层不同圈层相互作用及其地球动力学与大陆动力学特有信息。应是我们利用地域优势,进行原始创新,跻身于世界先进行列的良好基础。

主要关键科学问题:

(1) 中国大陆与海域区全球巨型构造动力学体系的汇聚、交接转换关系及其深部过程;

(2) 超大陆离散拼合和中国大陆不同构造系统的转换与动力学;

(3) 中国大陆构造中的主要构造交接转换域与构造结及其成因;

(4) 中国大陆完成拼合的过程与大陆的垂向、侧向增生及岩石圈动力学与地幔动力学。

3.3 加强构造地质基础理论与复合性人才的培养

此外,为了满足我国地学长远发展需要,尤其是推进大陆地质和大陆构造方面原创性理论研究,在地学发展的新形势下应加强构造地质基础理论与复合性人才的培养。

3.3.1 发展构造地质学—大地构造学的基础理论研究 现代地球科学的发展,已需要构造地质学与大地构造学应以人类现代最新科学技术成就为基础,发展创建新的构造地质学基础理论,即需要从经典传统几何构造学和以有限应变理论为基础的现代构造地质学,发展构建流变构造地质学和地幔羽构造动力学^[6-9,17-25],为整体新的地学理论的建立做出贡献。我国应适时抓着这一重要发展机遇,加强与支持构造地质学基础理论的探索研究与创造。

(1) 发展与创建包含流体构造地质学与深部构

造地质学在内的流变构造学;

(2) 探索发展构建在地质、地球物理、地球化学和实验与数理模拟为基础的地幔羽构造动力学;

(3) 实验构造学与数理模拟研究;

(4) 建立长期稳定的天然实验室与基地,开展多学科综合研究和支持与加强必要的科学工程,进行科学监测和观测积累;

(5) 参与我国登月计划,进行月球与行星地质构造研究。

3.3.2 构造地质学与大地构造学人才培养 构造地质学与大地构造学发展的关键是复合型创造性人才^[2,26],并鉴于目前构造人才的缺乏,故急需加强构造地质学与大地构造学人才培养,包括:

(1) 高等学校本科,尤其国家理科基础人才培养基地的地学本科生教育和高校、研究单位地学研究生的培养;

(2) 国家基金委有关研究人才培养。

本文是在与出席“21世纪构造地质学发展战略学术研讨会”(2003,西北大学)诸多专家学者交流切磋的基础上写就的,文中内容受会议主题启迪颇多。在此对会议和各位专家学者谨致谢忱。

参 考 文 献

- 1 Keith M. Evidence for a plate tectonics debate. *Earth-Science Review*, 2001, 55: 235—336
- 2 New Departure in Structural Geology and Tectonics. <http://www.pangea.stanford.edu/~dpollard/NSF/>
- 3 中国科学院地学部“中国地球科学发展战略”研究小组. 地球科学: 世纪之交的回顾与展望. *中国科学院院刊*, 2001, 16(2): 101—105
- 4 陈毓川,赵 逊,张之一,等. 世纪之交的地球科学—重大地学领域进展. 北京:地质出版社,2000,1—210
- 5 孙成权,曲建升. 国际地球科学发展态势. *地球科学进展*, 2002, 17(3): 344—347
- 6 张国伟. 关于中国造山带研究的一些思考. *地学前缘*, 1999, 6(3): 3—4
- 7 张国伟,董云鹏,姚安平. 关于中国大陆动力学与造山带研究的几点思考. *中国地质*, 2002, 29(1): 7—13
- 8 郭安林,张国伟,程顺有. 超越板块构造—大陆地质研究新机遇评述. *自然科学进展*, 2004, 14(7): 729—733
- 9 金振民,姚玉鹏. 超越板块构造—我国构造地质学要做什么? *地球科学—中国地质大学学报*, 2004, 29(6): 644—650
- 10 孙 枢. 中国地质科学今后一个时期的发展趋势和重点. *国土资源*

- 源, 2003, (5): 4—7
- 11 中国科学院地学部“中国地球科学发展战略”研究组. 中国地球科学发展战略的若干问题——从地学大国走向地学强国. 地球科学进展, 1999, 14(2): 105—109
- 12 陈宜瑜. 对开展全球变化区域适应研究的几点看法. 地球科学进展, 2004, 19(4): 495—499
- 13 汪品先. 走向地球系统科学的必由之路. 地球科学进展, 2004, 18(5): 795—796
- 14 姚玉鹏, 马福臣. 关于我国开展地球系统研究战略概念模型的讨论. 地球科学进展, 2005, 20(2): 144—148
- 15 Burbank D W, Blythe A E, Putkonen J. Decoupling of erosion and precipitation in the Himalayas. *Nature*, 2003, 426: 652—655
- 16 孙 枢. 对我国全球变化与地球系统科学研究的若干思考. 地球科学进展, 2005, 20(1): 6—10
- 17 Courtillot Y, Daville A, Besse J. Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle. *Earth and Planetary Science Letter*, 2003, 205(3-4): 295—308
- 18 Van der Hilst R D. Changing views on Earth's deep mantle. *Science*, 2004, 306: 817—818
- 19 Buffett B A. Earth's core and the geodynamics. *Science*, 2000, 288: 2007—2012
- 20 Panning M, Romanowicz B. Inference on flow at the base of Earth's mantle based on seismic anisotropy. *Science*, 2004, 303: 351—353
- 21 Romanowicz B, Gung Y. Superplumes from the core-mantle boundary to the lithosphere; Implication for heat flux. *Science*, 2002, 296: 513—516
- 22 郑建平. 中国东部地幔置换作用与中新生代岩石圈减薄. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999, 1—126
- 23 Jacoby W R. Success and failure in geodynamics; From past to future. *Journal of Geodynamics*, 2001, 32: 3—27
- 24 Yomovskaya T B, Kozhevnikov V M. 3D S-wave velocity pattern in the upper mantle beneath the continent of Asia from Rayleigh wave data. *Physics of the Earth and Planetary Interior*, 2003, 138: 263—278
- 25 Thatcher W. GPS constraints on the kinematics of continental deformation. *International Geological Review*, 2003, 45: 191—212
- 26 姚玉鹏, 马福臣. 美国地球系统科学教育概况及对我国地球科学教育的启示. 地球科学进展, 2004, 19(5): 712—714