

地球科学: 世纪之交的回顾与展望*

中国科学院地学部“中国地球科学发展战略”研究组

(中国科学院 北京 100864)

摘要 地球科学在 20 世纪取得了空前的进步, 21 世纪将是其更加迅速发展的时代。简要回顾了地球科学在 20 世纪的重大成就, 展望了该科学领域 21 世纪初叶的发展趋势与战略重点, 并提出了具体措施建议。

关键词 地球科学, 回顾, 成就, 展望, 发展趋势

地球是人类居住、生存和发展的家园。地球科学是人类认识、利用改造和保护我们目前惟一生存环境——地球的基础科学。

20 世纪地球科学突飞猛进, 空前地加强了对陆地空间、地球深部、海洋和极区的探索, 形成了较为完整的、以“上天、入地、下海”作为时代特征的、内容丰富的学科知识体系, 大大提高了对地球的认识; 开创了以解决重大科学问题为导向、时空尺度复杂多样(从矿物的原子到行星地球, 从瞬间地震过程到几十亿年地球演化过程)、多学科交叉综合和广泛应用高新技术的研究格局。

地球科学及其各分支学科的成就, 为人类社会的进步创造了辉煌的业绩。不仅在维持足够的资源供给及其持续利用、减轻自然灾害所造成的损失, 保护和改善环境、促进生态系统良性循环、协调人与自然的关系、保障经济和社会的整体发展、提高人类生活质量、增强政府科学决策与管理能力等方面做出了重大贡献; 而且深刻地揭示了人类活动对自然环境影响的严重程度以至于威胁人类自身

生存的事实, 从而引起人们日益关注人类与自然因素相互作用对生存环境的影响。毋庸置疑, 对地球系统的整体性研究已经成为人类社会可持续发展战略的科学支柱。

21 世纪将是地球科学更加迅速发展的时代。中国不仅是地球表面地域重要而独特的一部分, 而且拥有一支在世界上具有较强实力的地球科学研究队伍。在新世纪开端, 我国地球科学界应及时抓住机遇, 努力使我国“从地学大国走向地学强国”。

1 20 世纪的重大成就

纵观 20 世纪地球科学的发展历程, 大体上可以看出, 在这一世纪的前半叶, 基本沿袭 19 世纪形成的分支学科(如地质学、地理学、气象学和测量学)并进一步深化, 同时出现了地球物理学、地球化学等新兴学科; 二战之后的 30 年间, 其发展特征是新技术广泛应用于地球科学研究, 特别是对新领域的探索, 促进了海洋调查、对地观测的大发展和地

* 研究组由中国科学院院士孙枢(组长)、苏纪兰(副组长)、陈运泰(副组长)、马宗晋、安芷生、汪品先、周秀骥和章申组成。学术秘书为孟辉和刘勇卫。本文由孙枢根据中国科学院地学部“中国地球科学发展战略”研究组撰写的同名文章节录而成, 略有增添和修改
收稿日期: 2001 年 1 月 19 日

球科学各分支学科的全球化研究; 80 年代以来, 由于地球科学各分支学科的日益成熟和全球环境问题的日益突出, 人们认识到地球各圈层相互作用以及人类活动的重要性, 地球科学的发展开始进入地球系统科学的新时代。

地球科学在百年的发展历程中, 成就卓著、五彩缤纷。

20 世纪地球科学的重大成就当首推板块构造理论的建立。该理论认为固体地球的刚性外壳由若干岩石圈板块构成。板块位于软流圈之上, 在地球内力驱动下可作大规模的水平移动。

板块构造理论被誉为一次全新的革命, 其特点是全球化的演化史观, 改变了许多传统的概念和认识, 为认识地震和火山活动规律、矿产和化石能源形成规律建立了新的科学原理。

板块构造理论的形成可以追溯到“大陆漂移说”的提出, 但其关键性理论基础则是海底扩张和转换断层等概念。

1915 年提出的“大陆漂移说”是挑战当时占主导地位的洋陆固定论的划时代成就。尽管长期遭到反对, 但依然在少数学者中激起了新的思想, 成为新全球构造观的前驱。50 年代后期, “大陆漂移说”获得一些新证据而重新被人们所重视。

40 年代后期开始, 广泛的科学调查在各大洋展开。在此基础上, 1961—1962 年“海底扩张学说”诞生, 给出了大洋盆地形成的全新概念。这一新学说认为, 洋底岩石圈座落在地幔热对流循环的上方, 大洋中脊对应对流的上升区, 而海沟对应下降区。热对流使高镁铁物质沿大洋中脊裂谷上涌形成新生洋壳, 裂谷两侧岩石圈块体受推挤而向外漂移; 在海沟处对流循环下降, 洋底岩石圈下沉发生俯冲。洋底以每年几厘米的速度扩张, 整个洋底每 3、4 亿年可更新一次。

“海底扩张学说”极大地吸引了科学家们为之努力探索。1963—1964 年首先在印度洋中脊两侧测得了岩石古地磁极性倒转异常条带随时间有序排列, 证实了大洋中脊新生地壳向两侧扩张过程, 同时很快为深海钻探沉积物的时代及其古地磁测定所印证。1965 年, 据大洋新生洋壳区清晰的断裂

系提出了转换断层这样一种新的构造概念, 认为属刚性岩石圈在地壳表面发生转动的轨迹, 并大胆预测北美圣安德列斯平移断层属转换断层, 把东太平洋中脊切断位移至温哥华岛的外侧, 且当年即被探测证实。由转换断层外延还认识了三联分叉, 从而使全球岩石圈块体可予定量描述, 并推算出块体运动的转动(欧拉)极。

上述重大进展于 1967—1968 年促成了世界六大板块的划分, 形成板块构造的基本理论。作为板块运动驱动力的是地幔对流, 还有一些问题有待进一步的研究。目前, 全球划分出十多个大小不等的板块。

最近 30 年来的研究表明, 10 亿年甚至 25 亿年以来的大陆演化历史是板块运动和相互作用的历史。在地质历史时期, 板块的边界、大小和位置不断发生变化。板块活动形成盆地和山脉, 同时造成可供人类利用的自然资源。

在 20 世纪地球科学的重大理论成就、重大发现和具有代表性的工作方面, 还可以举出以下一些: 地球内部结构、矿产资源的大量发现、生物演化过程中的突发事件和全球地质年表的建立、气候变化周期的发现与古海洋学的建立、大洋环流理论、EN-SO 与海气相互作用、大气环流和数值天气预报、全球变化、地理地带性规律与地域分异理论、深海热液活动和深部生物圈的发现、古人类的重大发现、同位素年代测定、对地观测系统和地理信息系统的建立与应用、以及登月取样与火星探测等等。这些都是世界级里程碑式的成就。

2 21 世纪初叶的发展趋势与战略重点

20 世纪科学技术突飞猛进的发展, 使人们对新世纪充满乐观, 地球科学家也是如此。一些地球科学研究强国, 近年来纷纷展望 21 世纪地球科学的发展, 强调地球是人类的家园, 因此人类必须对它有深入的了解。地球是一颗硕大的行星, 是不断变化的、多圈层的、气液固三相共存的、生命与非生命物质共存的复杂系统, 是有着漫长演化经历的自

然历史体系,是时刻变化着的动态统一体。尽管对地球已有了多方面甚至系统的了解,但未知的方面可能更多。对地球的科学认识,直接关系到人类的生活质量和社会的可持续发展。

我国地球科学家满怀信心地迎接未来的挑战。21 世纪中叶,我国将基本实现现代化,建成发达、民主、文明的社会主义国家。然而,在实现这一宏伟目标的进程中,我国将继续面临比世界其它国家更为严峻的人口、资源、环境的多重压力。我国西部大开发战略的实施,更加重了我国地球科学解决重大资源环境问题和促进西部发展的历史责任。因此,地球科学研究要在对基本地球过程认识的基础上,在资源、能源、环境、灾害和地球信息等方面,为实现我国现代化和西部大开发提供充分的科学和技术支持。

到目前为止,我国只能说是一个地学大国,无疑中国需要而且能够成为地学强国,因为中国不仅拥有辽阔的地域和一系列独特的地球科学问题,而且还有一支献身于地球科学事业的优秀科技队伍,中国应为世界地球科学的发展做出更多的贡献。21 世纪初叶我国地球科学的发展,必须在科教兴国和可持续发展战略框架下,从国情出发,遵循“有所为,有所不为”的原则,着眼于质量,以提高理论水平和效益为重点,加强学科间的交叉渗透与知识集成,凝练对国家经济、社会发展和科学发展具有带动性的、兼具区域特色与全球意义的发展方向和重大科学问题,求真务实,开展创新研究。

2.1 对地球科学发展趋势的思考

对地球的科学研究的形成许多一级学科,而一级以下的分支学科更是数以百计。这里仅就地球科学作为一个整体、一个超级学科的发展趋势略作讨论。

(1) 地球各圈层(大气圈、水圈、生物圈、地壳、地幔和地核以及它们的组成部分)的深入研究推动各分支学科的继续发展。研究内容涉及圈层的结构、成分及其在时空上的变化,圈层内物质的运动和圈层的动力学。各学科的前沿科学问题将是关注的焦点,并将首先得以突破。学科的深化研究会

导致新兴学科的形成和发展。

(2) 地球各圈层相互作用的研究标志着地球系统科学的逐步建立与发展。首先侧重海-陆-气-生物圈相互作用的物理、化学与生物过程;壳-幔-核相互作用及其物理、化学和地质过程。相互作用的研究将导致新兴交叉学科的形成与发展,并导致地球系统观的建立,形成整体性的地球系统科学。

(3) 人类活动作为地球上发生的有关过程的一种作用力将进一步得到深入研究。地球在自然力的作用下一直在发生变化。近 30 年来的观测和研究,认识到人类活动对地球表层直到臭氧层有重大影响,有时甚至超过自然力的作用。地球科学将从人-地关系的角度审视环境的变化,为社会和自然的协调发展提出科学原理和方法。

(4) 地球科学将加强复杂性、非线性的研究。地球各圈层内物质运动的规律和相互作用都存在非常复杂的非线性问题,以往大都在某种假定下把非线性的数学模式线性化,然后求解。大型高速电子计算机的广泛应用,将首先推动大气科学、海洋科学和地球物理学的复杂性和非线性研究。

(5) 地球科学将更加注重同现代科学技术各有关学科之间的交叉。广泛采用高分辨率的观测系统(地面、水面的直到空间对地观测)、高灵敏度和高准确度的分析测试系统(包括微粒、微量、纳米级和超微量)、不同条件下的实验模拟系统、建立在动力学及高性能计算基础上的数值模拟以及数字化的地球信息系统。

(6) 解决资源、能源、环境、灾害和地球信息问题的能力进一步加强,预测能力继续提高,继续拓宽为社会服务的领域,为国家的决策者和国际论坛提供事关人类生活质量和可持续发展以及国家安全的科学依据与咨询,逐步实现对地球的各个部分直到整体的科学利用和管理。

(7) 地球科学研究将朝着“宏观更宏,微观更微,宏观微观相结合”的方向发展,继续保持全球化的研究工作特点。全球化的研究方式不仅指各类国际研究计划的执行,更重要的表现为研究区域性问题和全国性问题的离不开对全球性信息和全球其它地区、其他国家研究进展的及时把握。越是前沿

性和原创性的研究,这种依赖性越强,因为地球及其各圈层是一个整体。一些地球科学问题固然有区域性的特点,但这种区域性是寓于全球性之中的。在一定意义上,只有更好地了解全球才能更好地了解区域。同时,区域是全球的窗口,区域性是通向全球性的大门。21 世纪的重大突破,将属于站在区域性和全球性结合点上的地球科学家。

(8) 我国地球科学还将面临“上天、入地、下海”更艰巨的任务,在继续加强各学科领域深入研究和综合集成的基础上,应重视加强深海-大洋研究、高温高压研究、日地空间研究、以及其它行星研究,重视新技术的应用和地球科学的基础设施建设,重视改进地球科学教育。

2.2 战略重点

面对我们赖以生存的地球,需要研究的科学问题十分广泛,地球科学 20 世纪的成就正是各分支学科共同努力的结果。这里试图从跨学科和强调圈层相互作用的角度,提出 21 世纪初叶地球科学研究战略重点的 10 个方面。

2.2.1 地球内部深层过程与圈层相互作用

(1) 高分辨率层析成像与地球内部圈层的三维精细结构。(2) 地幔对流。(3) 核幔边界。(4) 磁场的成因与变化。(5) 大火成岩省、岩浆作用与变质作用。(6) 深部流体与岩石圈热力史。(7) 青藏高原、造山带和大陆岩石圈的演化。(8) 大陆地壳的现代活动性。(9) 洋中脊与大洋岩石圈。(10) 沉积盆地与盆山系统。(11) 地球动力学模拟。

2.2.2 陆表过程、近海过程与区域可持续发展

(1) 地貌对地质构造的响应。(2) 中国宏观环境格局及其形成与演化。(3) 陆地表层水循环过程。(4) 生源要素(碳、氮、磷、硫等)的生物地球化学循环。(5) 土地与土壤质量形成与演变。(6) 陆地表层过程综合。(7) 横跨陆架的物质输运过程。(8) 河口与海岸带的可持续发展。(9) 近海富营养化及近海生态系统。(10) 人地关系地域系统调控。

2.2.3 海-陆气相互作用与气候系统变异

(1) 太平洋和印度洋海洋环流动力学与海气相

互作用。(2) 西太平洋暖池成因与 ENSO 的关系。(3) ENSO 与东亚季风的相互作用。(4) 海岸带物质的迁移、储存与热交换。(5) 东亚季风区及中高纬区气候的年际与年代际变化。(6) 海陆气相互作用与水分循环。(7) 亚洲季风系统动力学与气候季节-年际预测。(8) 云、气溶胶在气候系统中的作用。(9) 新一代气候系统模式的研究。

2.2.4 大洋和大陆之间能流与物流的变化

(1) 亚洲大陆输入边缘海和太平洋的物质通量及其变化。(2) 边缘海成因与东亚形变的关系及其气候环境效应。(3) 暖池和黑潮形成、演变的构造背景。(4) 暖池和黑潮对冰期旋回的响应。(5) 暖池和黑潮变化对我国气候环境的影响。

2.2.5 日地空间环境及比较行星研究

(1) 太阳风暴的动力学模型与预报。(2) 日冕加热和太阳风的起源与加速机制。(3) 灾害性空间天气。(4) 磁层空间暴、电离层暴、热层暴及其耦合的全球过程。(5) 中层大气的地域特性。(6) 太阳活动和空间环境对气候、地面环境和生态的影响。(7) 月球及火星研究

2.2.6 全球变化及其区域响应

(1) 碳循环。(2) 全球水循环与区域水资源。(3) 土地利用与土地覆被变化。(4) 黄土、冰芯、湖泊、树轮、岩溶和海洋沉积的高分辨率环境记录。(5) 重建过去气候和环境变化的地质历史图象。(6) 亚洲季风环境系统耦合演化、动力学及其与全球的联系。(7) 全球增暖的陆地区域影响的预测、评估和适应。(8) 全球增暖的近海区域影响的预测、评估和适应。

2.2.7 生物与地球的协同演化

(1) 地史时期重大生物事件与地球环境(生物多样性的起源、危机与复苏)。(2) 早期人类起源。(3) 极端环境下生命特征和适应机制。

2.2.8 自然资源的需求保障

(1) 矿产(含非常规)与化石能源及其可持续利用。(2) 地壳流体与矿产、能源的形成。(3) 水资源的可再生维持。(4) 环境安全下的土地利用格局。(5) 近海生态系统与海洋生物资源。(6) 天然气水

合物的形成条件与探查。

2.2.9 减灾与环保的地质基础

(1) 环境污染的机制和控制原理。(2) 固体废弃物的无害化、资源化与核废料安全处置。(3) 水污染控制和污染水体修复。(4) 退化土地与污染土壤的修复。(5) 大气质量、大气环境预测与污染控制。(6) 赤潮暴发的机理。(7) 重大气候灾害和影响强烈的天气系统(台风、暴雨、沙尘暴等)的变化规律及其预测、预报。(8) 地震的机理与预测。(9) 建筑物与城市抗震的地质基础。(10) 重大自然灾害区域成灾机理与风险评估。

2.2.10 技术支撑系统

由于篇幅所限, 本文不再细列。

3 措施建议

(1) 建立和实施大型科学设施和仪器的共建共管共用制度;(2) 实施对地观测系统和“数字地球”的共建与数据共享;(3) 加强分析测试技术的发展;

(4) 加强新兴科学领域;(5) 安排以学科交叉为主要目标的大型科研计划;(6) 加强基地建设;(7) 进一步加强地球科学教育;(8) 增加对地球科学研究的经费投入。

参考文献

- 1 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. 北京: 科学出版社, 1998. 93.
- 2 National Research Council. Solid-Earth Sciences and Society. National Academy Press, 1993. 346.
- 3 国家自然科学基金委员会. 大地测量学. 北京: 科学出版社, 1994.
- 4 中国地理学会(主编). 面向 21 世纪的中国地理科学. 上海: 上海教育出版社, 1997.
- 5 国家自然科学基金委员会. 大气科学. 北京: 科学出版社, 1995. 196.
- 6 National Science Foundation. 50 years of Ocean Discovery: NSF 1950—2000. National Academy Press, 2000.

Earth Science: A Review and Prospect at the Turn of the Century

CAS Division of Geology

(CAS, 100864 Beijing)

Earth sciences made unprecedented progress in the 20th century and will develop further at an accelerating pace in the future. This paper briefly reviews the most important achievements contributed by several generations of Earth scientists in the world during the past century. Emphasizing the great significance of the study of the Earth system as a whole and of interactions of its all parts, research opportunities in the next decades are tentatively outlined and research priorities of interdisciplinary and Earth-system aspects are proposed. Finally, some recommendations for research implementation to both scientists and policy-makers are also made.