

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>



地球系统科学——一门新的综合学科^①

徐道一

(国家地震局地质研究所, 北京)

80年代初期, 由国际科学联合会理事会 (ISCU) 提出筹组90年代新的国际科学规划: 国际地圈-生物圈计划 (IGBP)。该计划主要研究全球变化。世界各地科技组织都在积极筹备和提出计划方案。美国和加拿大是这一计划的主要发起国家, 并在国内从组织上、经济上积极推行和实施这一计划。最近, 美国的科学家正式提出了“地球系统科学”⁽¹⁾并对它作了较系统的论述。现根据收集到的国外资料, 将对这一新的综合学科进行介绍并进行简短的评论, 不当之处, 欢迎指正。

一、概况

地球系统科学是属于宇航事业和科学发展到一定阶段的产物。

宇航事业的迅速发展促进了遥感技术的改进和提高, 这提供了从空间对地球进行整体研究的技术和物质基础; 60年代板块构造学说和全球构造理论开始了对地球进行全球性研究的新阶段。最近30年来对大陆、海洋、大气圈、生物圈和冰盖的研究表明, 地球是一个非常复杂的变动的球体。因此有必要把地球作为一个系统, 或从整体进行研究。故产生了地球系统科学。

美国国家航空和宇宙航行局 (NASA) 顾问理事会, 在1983年11月设立了“地球系统科学”委员会, 该委员会在1988年1月开始出版了一本题为“地球系统科学”的专著, 较为系统地论述了与地球系统科学有关的许多基本概念和问题。

1986年在美国的宾夕法尼亚州立大学, 成立了“地球系统科学中心”的研究机构并于当年预算经费约100万美元。1987年在一份关于加强“美国地学的国际联系”的报告中, 建议能建立“全球地学办公室” (非官方组织), 目的是促进国际范围内地学活动的开展。在荷兰, 将于1988年底出版一本题为“全球和行星变化”的期刊。

总之, 地球系统科学已作为一门新的综合学科脱颖而出。

二、目的和任务

地球系统科学主要研究地球系统各个组成部分、演化过程、形成机制以及它们之间的相互作用。

该学科是建立在传统的各个学科研究基础之上, 它不仅是地球系统各个组成部分的简单总和, 而且是对它们作为一个统一的形态系统对其中各学科的相互关系进行更深入的探讨。它的一个主要出发点是把地球看成是各种时间-空间尺度上的 (各个要素) 相互作用过程的相关序列。

地球系统科学的主要任务是预测今后10—100年间自然界和人类活动变化的情况。

三、基本内容

在开展地球系统科学的研究中主要强调研究区分不同的时间尺度, 而不是不同的学科; 十分强调各个学科的相互作用, 而不是各个学科本身的因果关系; 强调它演化的动态变化过程, 而不是静态。这是它与其它地球分支学科的区别要点。

在全球范围发生的变化主要是由于地球的各个子系统 (大气圈、海洋、地幔、岩石圈、生物圈等) 的相互作用的结果。研究这些变化的强度、过程和成因是地球系统科学的一个重要内容。

地球作为一个整体在时间和空间上是不断变化的, 这是一个动力系统。研究这样一个代表地球上所有过程和变化的动力系统, 目前尚无能力, 因此, 只能选择一定的时间或空间尺度的过程, 解决某些特定问题。

图1表示了在各种时间和空间尺度上各种过程。在图上的每一个过程可能被许多其它过程所影响; 有时可能被其它子系统, 或其它时间或空间尺度的过程所影响。

1. 时间尺度 不同的时间尺度的过程是受不同

^① 本文是在国家自然科学基金委员会, 国家地震局资助下完成的。

本文1988年8月收到, 10月改回, 王毅编辑。

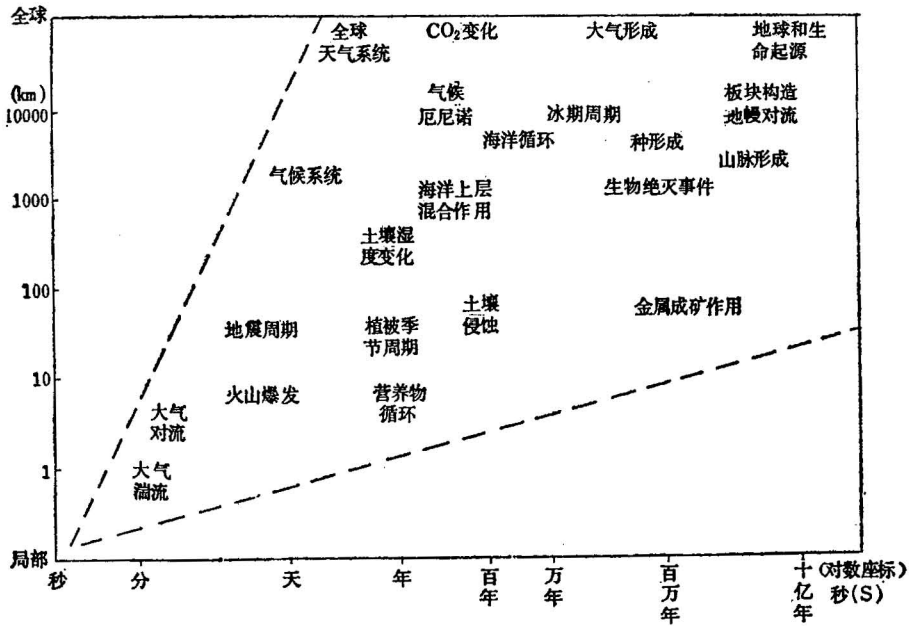


图 1 地球系统过程在时间和空间尺度上的分布

(译自地球系统科学, 1988)

Fig. 1 The distribution of the earth system process in time and space

要素控制的。在全球变化中可区分出五个主要时间尺度：

- ①100万年—10亿年；②1 000年；③10年—100年；
- ④天一季；⑤秒—小时。

前两类是属于长期的。地球系统科学主要研究的是前三类时间尺度的变化。

(1) 几千—几百万年时间尺度的全球变化

这一时间尺度的地球系统过程主要是通过通过对岩石、古生物和考古的研究来获得有关资料，它可提供在过去地质历史时期的全球性变化和—些特殊的灾变事件的概貌。这些变化既与地内因素（放射性元素蜕变能、岩浆活动等），又与地外因素（太阳、月球等）有密切的关联。

在地球深部，有核-幔过程在进行；近地球表层有板块构造作用。从地幔产生板块物质，通过俯冲，有些又返回到地幔。地球内部驱动机制和表生作用形成了地球表面形态：如洋脊、洋盆、山脉和平原等。生物的进化亦不完全是连续的。在某些时刻、许多新的种类以间断平衡的方式突然地出现。它们在这一尺度的地球系统的变化中发挥着重要作用。

图 2 表示了这一时间尺度的地球系统过程的相互作用的概略框图。

(2) 几十年—几百年时间尺度的全球变化

这一时间尺度与人类社会的联系更为密切，亦是

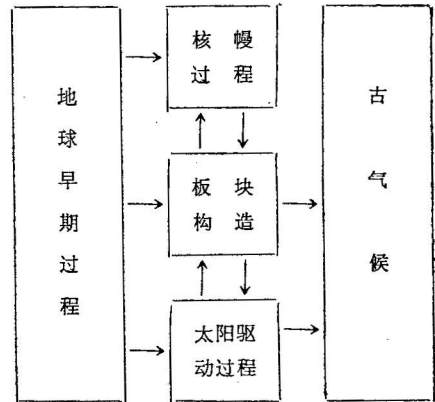


图 2 几千—几百万年时间尺度的地球系统过程的简化概念框图 (译自地球系统科学, 1988)

Fig. 2 Simplified conceptual diagram of the earth system process in the time range of thousands of years to millions of yaars

地球系统科学研究的重点。

地球系统有两个子系统：气候系统和生物地球化学系统（图3）。气候系统是综合了大气和海洋过程，并包括了由太阳能驱动和冰盖形成的变化。生物地球化学循环（过程）是研究对全球环境有重要影响的某些物质，如碳、氮、磷、硫等的变化及其对生命物

质的影响,例如大气、河流和海洋是对某些化学组分转移、世界生态系统变化的重要动力,并控制着生物

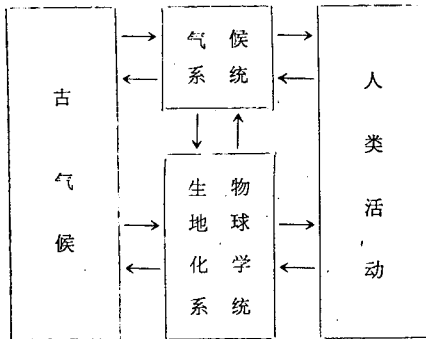


图3 几十—几百年时间尺度的地球系统过程的简化概念模型

(译自地球系统科学, 1988)

Fig. 3 Simplified conceptual model of the earth system process in the time range of tens of years to hundreds of years

界的温度环境。一些化学组分虽然在大气中含量很少,但它们对某些射线通过大气时却有显著的影响,进而对气候变化发生作用。距今18 000年以来的气候、植被和海洋浮游生物对于了解气候系统和生物地球化学循环是很重要的。

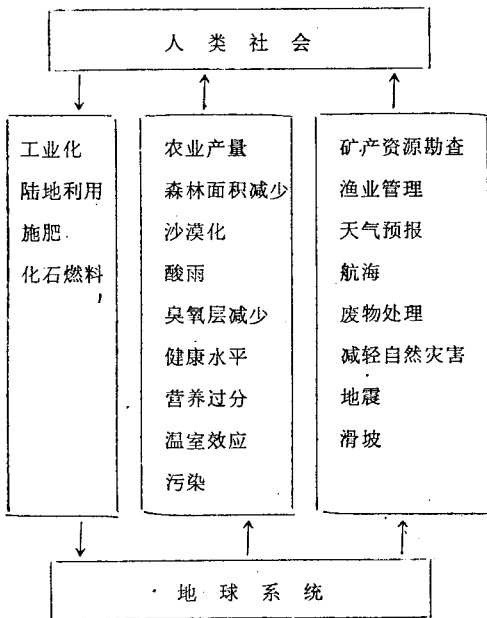


图4 人类社会与地球系统相互作用框图

(译自地球系统科学, 1988)

Fig. 4 Diagram showing the interaction between the human society and the earth system

随着人类社会的发展,尤其是工业革命以后,人类活动对地球生物、地球化学循环产生了明显的影响(图4)。例如,大气中CO₂和CH₄的含量已经超过了它们在历史上曾达到的最大值;由于石油等燃料的大量应用,使碳在全球分布发生了变化,进而影响到生物界和人类社会的未来。而人类活动也可对地球系统产生一定的影响。

2. 模型 自然界是十分复杂的,难以通过实验来进行研究,通常用概念模型和数字模型的方法,表现自然界的复杂过程。

首先,要收集对自然现象的观测资料,然后根据各种假设去拟合它们的习性。由于客观存在的复杂性,就是为它们进行简化、近似的描述,亦涉及到许多变量和过程。有时可用数字模型应用大型计算机来进行研究。有时则用概念模型,即基于工作假设,通过一系列的研究,和实际观测资料进行比较和验证,进而作出肯定或否定假设的判断。如果得出肯定的结论,则可进行用以预测未来的全球变化。

总之,提出模型,进行模型检验,以及预测等是开展模型研究的基本环节。

3. 建立观测系统和信息系统 为了开展地球系统科学研究,需要建立和完善相应的观测系统和信息系统。

(1) 小观测系统: 建立这一系统应注意下列问题: 使空间观测与地面观测数据能联成一体,这是由于两者采用的技术、观测位置和取样准则方面都有显著的差别;对全球性变量和过程都有所测量;经验性数据和模型拟合数据能相互配套比较。

(2) 信息系统: 现有的数据大多是对各分支学科的研究取得的,其特点是较为分散,文件化差,难以获取,并进入数据库。

近来,从空间研究取得的数据量在迅速地增加,但如何把大量数据能有效地转化成合理解释为地学数据还缺乏工作。

对地球系统有关的数据的获得、处理和解释都有十分巨大的工作量,必须用超级电子计算机来完成这一数据管理工作。

4. 今后工作建议 大体划分为两个阶段: 第一阶段(1987—1995年)主要是加强和扩展现有对地球进行连续观测的观测网,主要是通过美国国家海洋大气局的 Polar—Orbing 和 Geostationary Environment卫星;继续发射一些如 Lasei Geodynamics卫星(LAGEOS-3,1993年发射),Ocean Topography实验卫星(1991年发射),Scatterometer 卫星(1992年发射等);筹备建立一个以进行地球系统研究为主要目的

的一系列卫星发射，1989年开始；加强与地球系统科学有关的基础研究；建立一个信息系统以及有关仪器技术等。

第二阶段（1995年以后）是对地球进行整体研究的新阶段，发展对全球性变化进行长期观测所需要的科学技术。建立空间的地球观测系统（Earth Observing System），以及从地面、航天飞机、气球和船上开展的对全球研究需要的测量；继续进行有关地球磁场、重力、大气观测的卫星发射；扩充信息系统以及开展多科学的基础研究。

四、几点想法

1. 科学发展新阶段的一个标志 黄汲清教授（1983）^{〔2〕}指出：自然科学的内容越分越细，……。这种趋势如果继续发展下去，必将产生一种危险，那就是对于一个重大的自然现象只依靠一两个分支学科专家来进行研究，将象瞎子摸象一般，得不到正确的解释和结论。

从本世纪中叶以来，系统论、控制论以及耗散结构等系统理论的出现表明了科学的发展已开始进入了一个新的阶段——综合研究为主的阶段。科学家的兴趣开始从物质转移到了关系、联系和时间。地球系统科学的出现标志着开始把系统理论应用到地球科学的新阶段。

2. 相互关系的动态网络 量子理论揭示了宇宙的一种基本性质，自然界并不是呈现为相互分离的基本建筑材料，而是表现为各部分组成整体的各种关系的网络。现代物理学强调：自然处于一种动态的平衡。亚原子水平的粒子高速运动，本身是一种过程。只有理解了所有其它粒子的性质才能真正理解一种粒子的性质。玻姆认为：“整个宇宙的不可分割的量子性相互联系是基本的实质，而有相对独立行为的部分仅仅是这个整体中特定的、偶然形式”。这种强调事件，而不是物体，主张通过变化来掌握事物本质的基本思想不仅在微观、宏观中适用，而且在一定程度上亦适用于宏观科学研究。地球系统科学的基本内容亦反映了这

一基本思想，尽管表达的还不明显。

3. 地球系统科学在内容上的不平衡 在“地球系统科学”一书中反映出其内容上不平衡不全面。

从目前的内容看来，仅偏重于生物圈和地圈中的气候系统，而忽视了岩石圈这一个重要的子系统在地球系统中的重要性。

除了划分不同的时间尺度以外，还应划分不同的空间尺度，例如除了研究全球尺度以外，还应研究大区域（洲、洋等）和地区性（国家等）的地球系统变化；当前除了研究大气圈、水圈与其它组分之间的相互对用，还应加强生物圈、岩石圈与其它组分之间的相互作用的研究。

4. 改革地震预报思路的一条途径 地球系统科学的最终任务是要预测未来的变化。从这一点看来，它与地震预报的目的是一致的。因此，上述基本思路可试用于地震预报研究中。

事实上，我国1975年海域地震等的预报经验表明，通过对长、中、短、临各种时间尺度的综合预报结果，分析与发震有关的各种现兆，才实现了对七级强震的较好预测。虽然在当时我国科技人员并不自觉，但实际上却在应用系统理论的基本思想来探讨地震预报问题。

参 考 文 献

- 〔1〕 Earth System Science Committee, 1988, Earth System Science, A program for global Chang. NASA, Washington, D. C.
- 〔2〕 徐道一、杨正宗、张勤文、孙亦国, 1983, 天文地质学概论。284页, 地质出版社。

作 者 简 介

徐道一，生于1934年。1956年毕业于北京地质学院矿产地质普查专业，1963年获苏联莫斯科大学地质系副博士学位。从事数学地质、地震预报、天文地质、天地生综合研究等方面的研究工作。现任国家地震局地质研究所研究员。