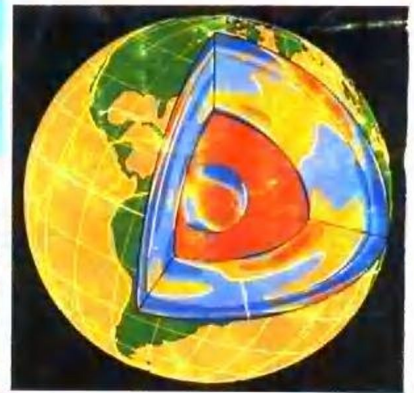
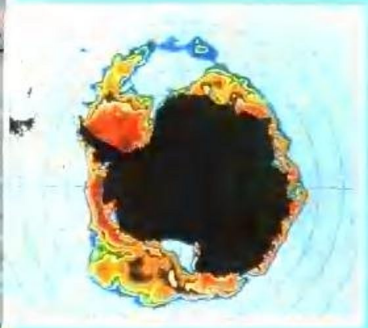
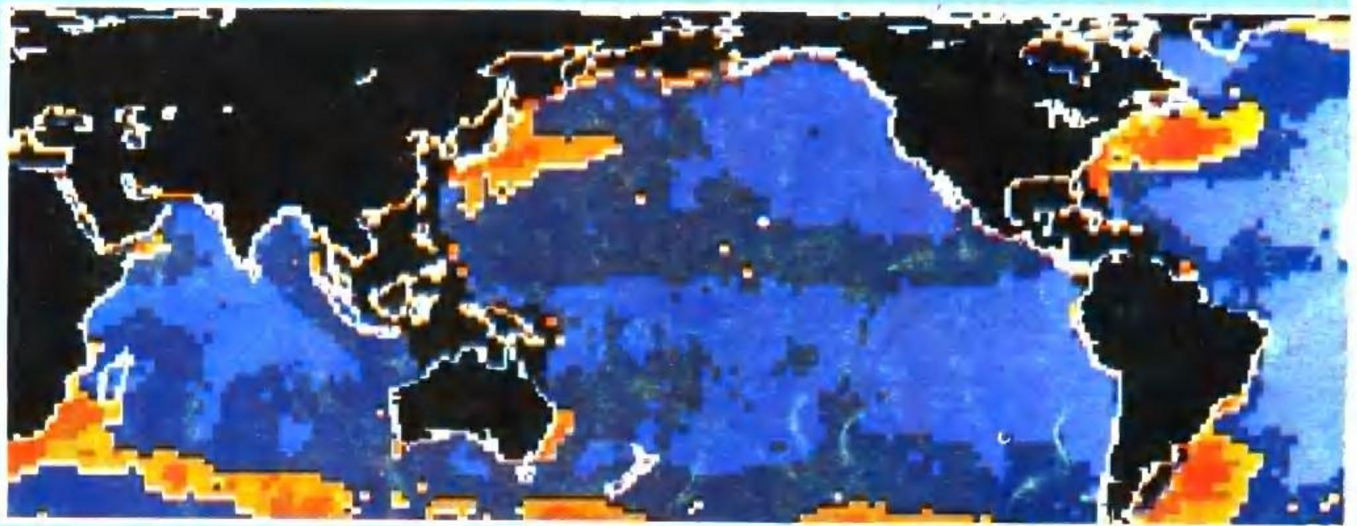


(美) 美国国家航空和宇航管理局地球系统科学委员会

# 地球系统科学



地震出版社

北京)

3

· 074447



# 地球系统科学

【美】美国国家航空和宇航管理局地球系统科学委员会

陈泮勤 马振华 王庚辰 译

SY13/14



200307408

地震出版社

1992

(京) 新登字 095 号

### 内 容 简 介

本书由美国国家航空和宇航管理局地球系统科学委员会组织大批优秀科学家撰写而成,书中明确地提出了地球系统科学的观点,强调将大气圈、水圈、岩石圈、生物圈作为地球系统来看待,指出需研究发生在该系统中主导全球变化和相互作用的物理、化学和生物学过程,特别是人类活动诱发的全球变化,以揭示全球变化的规律,提高人类认识并预测全球变化的能力。

本书奉献给读者,以期引起我国地球科学工作者、管理决策部门人员对全球变化研究的兴趣和重视,为保护人类的地球环境作出应有的贡献。

Earth System Sciences Committee NASA Advisory Council

EARTH SYSTEM SCIENCE

*A Closer View*

National Aeronautics and Space Administration

Washington, D. C., January 1988

### 地 球 系 统 科 学

【美】美国国家航空和宇航管理局地球系统科学委员会

陈泮勤 马振华 王庚辰 译

特约责任编辑 蒋发二 裴 申

地 震 出 版 社 出 版

北京海淀区民族学院南路9号  
邮政编码:100081

中国科学院印刷厂印刷

\*

1992年12月第一版 开本:787×1092 1/16

1992年12月第一次印刷 印张:12 插页:6

印数:0001—2,000 字数:267千字

ISBN 7-5028-0534-6/P·359

(922)

定 价: 15.00 元

## 译 者 的 话

---

自地球诞生以来,它就以其自身的规律造就并主宰着地球上的生灵。与此同时,地球上的高级智能动物——人类,在漫长的历史岁月中,为了自身的生存和发展,不断地影响并改造着地球环境,逐渐成为地球环境中不可缺少的组成部分。

今天,人类对地球环境的影响已从罗马时期的局部影响步入了全球影响的时代。正因为如此,使得人类正面临着一系列前所未有的、重大而紧迫的全球环境问题。环境污染、温室效应、气候异常、植被破坏、土地沙漠化等已成为人们的热门话题。从科学的角度看,这些紧迫的环境问题,涉及地球各部分的相互作用,涉及到地球作为一颗行星的可居住性问题。认识并预言地球环境的变化,是世界科学家们面临的严重挑战。

应运而生的《地球系统科学》正是 80 年代国际科学界为迎接全球环境挑战而提出的新的战略学术思想。该书由美国国家航空和宇航管理局地球系统科学委员会组织大批优秀科学家撰写而成。它首次提出了地球系统科学的观点,强调从整体的高度出发,将大气圈、水圈、岩石圈、生物圈作为地球系统来看待,强调要研究发生在该系统中主导全球变化的、相互作用的物理、化学和生物学过程,特别是人类活动诱发的全球变化,从而最终揭示全球变化的规律,提高人类认识并预测全球变化的能力。在研究方法上,地球系统科学用尺度的观点来分析全球变化,特别强调对数千年至数百万年和数十年至数百年的全球变化的研究。前者以揭示地球系统是如何工作为目的,重建古环境记录;后者对人类社会的组织和规划是极其重要的,它将地球系统分为物理气候系统和生物地球化学循环两个系统,以过程研究为重点,研究其间的相互作用。其基本思路是对全球变化进行描述、理解、模拟和预测。它将全球变化用一些基本变量来描述,并通过全球范围的长期、持续、同步观测(卫星和地面观测)和建立全球变量信息库来实现;进行过程研究,以加深对全球变化的理解和认识;在此基础上建立数值模式,进行数值模拟,应用重建的过去环境记录检验模拟结果;最后对地球系统状态变量的变化趋势、取值范围作统计性预报。

《地球系统科学》是全球变化研究的一本指南性书籍,我们将本书介绍给读者,以期引起我国有关科学、管理和决策工作者对全球变化研究的兴趣和重视,为保护人类的地球环境作出应有的贡献。

本书第一至第三章由王庚辰同志翻译,第四至第六章由陈泮勤同志翻译,第七至第九章由马振华同志翻译,附录由陈泮勤和幸世本同志翻译,第二和第三章由易善锋同志校订,全书由陈泮勤同志总校。为了进一步提高质量,又请沈显杰同志对全书稿进行了终校,在此表示感谢。翻译中删去了原书中的彩图和索引部分。由于时间仓促,跨越学科面广,不妥之处在所难免,敬请读者不吝赐教。

本书的翻译工作是在孙枢教授的大力和支持下进行的，并得到美国国家航空和宇航管理局地球科学委员会主席 Francis P. Bretherton 的同意，在此一并表示感谢。

1990年8月

• • •

# 序 言

---

我们十分荣幸地生活在一个科学研究的非常时代。全世界的科学家们正在寻求物质基本粒子的结构,揭示生命的遗传密码,探索太阳系的行星,并将天文学的前沿研究推究到宇宙的起源。

毫无疑问,我们至少必须认识我们所居住的这个地球的性质,探索它的历史,掌握它的结构和运行的基本原理,估计人类对它的影响,并勾画其未来几十年的蓝图。

很多传统的地球科学学科都达到了成熟的地步,并提供了新而有力的研究工具,使之将地球作为各部分相互作用的整体系统来进行研究。现在我们能够直接测量地壳板块的不断运动以及这种运动对地形的影响。全球大气环流模式不仅能够实现日常数值天气预报,而且还可以对大尺度的大气动力学进行研究,从而为气候研究奠定了基础。逐步建立起对当前海-气相互作用的认识,全球海洋环流三维模式不久即将问世。对史前冰层和海洋沉积物的分析正在揭示过去气候变化的范围以及地球轨道参数变化的周期性影响。全球生物对海洋和大气许多性质的影响具有决定性的意义,业已获得公认,对海洋生物群落和陆地生态系统即将进行的研究,更将使上述研究工作建立在牢固的、定量的基础之上。在过去的20年内,大气化学已成为一个活跃的研究领域,使我们意识到大气与陆地和海洋中的化学和生物学过程之间的相互作用。所有这些活动都反映了国际科学界关于将地球的运行作为一个系统来认识的重要性方面的共同认识。

空间技术及地基研究手段相协调,为全球观测开辟了极为有效的途径。从传感器的发展到先进的计算机系统等技术的新进展,为我们提供了空前详细完整的记录和分析地球过程的手段。此外,记录在案的人类活动在全球变化中的作用,激发了应对这种挑战需要迅速采取国际性对策的政治意识。

这份提交给美国国家航空和宇航管理局(NASA)顾问委员会的地球系统科学委员会(ESSC)的报告,是美国很多平行研究计划中的一个,其目的在于唤起人们对广泛开展全球性地球研究计划的需要和机会的注意。其他的研究计划有:

- 白宫科学和技术政策办公室 1985 年的一个报告,它阐述了各联邦机构在美国地球遥感民用计划方面的作用和职责;
- 国家空间委员会 1986 年的一个报告,在各种重要的空间计划中,该报告极力主张对地球这一行星进行长期的全球研究;
- 国家科学基金委员会的一项包括地球科学广泛学科领域的全球地学计划;
- 国家研究委员会的空间科学部 1987 年提交给 NASA 的关于 21 世纪空间科学的

报告,也包括开展全球地球研究的建议。

地球研究本质上是国际性的。因此,重要的是美国关于这方面研究的积极性正在得到其他国家和国际协调组织,尤其是国际科学联合会理事会(ICSU)的配合。近些年来所制定的很多国际计划对这一研究做出了重要的贡献,并显示出国际合作是富有成效的。这些计划包括由 ICSU 发起的世界气候研究计划、国际岩石圈计划以及国际海洋钻探计划——每一个计划都包含了美国的重要贡献。

1986年9月,在瑞士伯尔尼举行的会议上,ICSU 进一步批准了国际地圈-生物圈计划(IGBP)。该计划的目的在于“描述和认识对整个地球系统起调节作用的相互作用着的物理、化学和生物过程,地球为生命所提供的独特环境,发生在该系统中的变化以及人类活动对这些变化的影响。”

在美国国家科学院内部已制定了一项对 IGBP 作出贡献的广泛的研究计划。可以预期,本报告所提出的计划将成为这一贡献的组成部分。

国外对美国提议在 1992 年举办国际空间年(ISY)也抱有极大的兴趣。在 ISY 科学计划的各项初步建议中,将地球作为一个行星来认识独具特色。

1986年1月“挑战者”号航天飞机的灾难性损失导致美国近期空间计划的严重推迟。但是如果运载火箭发射只是国家空间政策的一个组成部分,则目前航天飞机发射的暂时中断,对 ESSC 所提出的计划就不应有多大影响,因为这本来就是一个长期的计划。

在本世纪内,我们的时间刚够对地球系统作新的综合和了解。如果成功,我们将带着对所居住星球的新见解进入下一世纪,而这对于更清楚地、全方位地预测地球的未来是必不可少的。



# 前 言

---

1983年11月，美国国家航空和宇航管理局顾问委员会任命了一个地球系统科学委员会（ESSC）来考虑国家航空和宇航管理局的地球科学计划，它负责如下任务：

- 把地球科学作为各部分相互作用的一个系统加以评述。
- 推荐一个全球性地球研究的执行战略计划。
- 确定国家航空和宇航管理局在该计划中的作用。

我们认为，这实质上是要确定一个内容广泛的综合性计划，以提出一个最紧迫的科学研究领域，即时间尺度为几十年至几百年的全球变化，使人们认识到这是空间观测对所有时间尺度地球演化研究作贡献的极好机会。鉴于该计划领域广泛，美国国家海洋与大气管理局局长于1985年8月也要求得到地球系统科学委员会（ESSC）的报告。

通过美国国家研究委员会的大量研究，特别是空间科学局地球科学委员会和国际地圈-生物圈计划美国国家委员会的报告，得到了关于中心科学问题和时机的重要结论，这些资料已由该委员会组成的特别工作小组的意见所补充，它们的报告将发表并作为对本报告的补充。



## 推荐计划概述

(1) 开展对全球变量的连续而长期的观测,以便记录地球系统的重大征兆及全球变化的特性;

(2) 对地球及其历史作基本描述,旨在加深对我们赖以生存的地球的基本认识;

(3) 确定研究工作重点和过程研究,以便使所有的研究工作都瞄准最主要的地球科学问题;

(4) 发展地球系统模式,以便汇集资料,指导研究计划和模拟未来全球变化趋势;

(5) 建立地球系统科学的信息系统,以便进行资料归纳、资料分析和定量模拟工作;

(6) 协调联邦机构,以确保计划的有效执行和效率;

(7) 进行国际合作,以促进美国与世界范围研究工作的合作关系。

该计划的执行合乎逻辑地分两个具有不同研究机会的阶段:近期阶段(1987—1995年),它包括目前计划中空间任务的飞行和进行重要的过程研究;新阶段(大约始于1995年)以建立综合性的地球系统科学观测计划为特点,将采用新一代的空间技术和一整套综合性地面仪器。

近期计划:1987—1995年

◆扩展和加强连续的和业务性的地球观测,目前它正由国家海洋与大气管理局(NOAA),国家航空和宇航管理局(NASA)及其他单位付诸实施。这些计划,尤其是NOAA的极轨和地球同步环境卫星系列,对于确保全球变量的长期观测的近期连续性是必不可少的。

◆不断发展和及时完成专门的空间研究任务的协调系列,包括:

• 地球辐射收支实验(ERBE,1984年已发射);

• 激光地球动力学卫星(LAGEOS-1,1976年已发射;LAGEOS-2,将于1993年发射);

• 上层大气研究卫星(UARS,1991年发射);

• 海洋地形试验(美国-法国,TOPEX/poseidon,1991年发射);

• NASA 散射计(NSCAT),它将安放在海军海洋遥感系统(N-ROSS)卫星上(1992年发射)。

这些任务使得主要的长期全球测量得以扩展或开始进行,同时,对于很多近期过程研究也是很重要的。

◆NASA研制的用于研究任务的地球系统探测器系列始于地球重力位势研究探测器任务(GREM,始于1989年)。这一系列是为了满足以全球尺度对地球及其历史进行基本描述和附加的过程研究的需要。

◆在合适的平台上进行其他示范仪器的飞行,以便以适中的费用从空间获得重要的地球系统资料。最初选定的计划包括海洋彩色扫描器,大气一氧化碳监测器以及应用航天飞机进行研究及仪器的研制(如,扫描雷达高度计)和标定。

◆基本地球系统研究和现场测量的跨学科计划的扩展和协调。这项工作将由 NASA, NOAA, 国家科学基金委员会 (NSF), 美国地质调查局 (USGS), 能源部 (DoE), 海军研究局 (ONR) 和其他联邦机构负责实施。这样的计划是为了满足以全球尺度对地球及其历史进行基本描述和过程研究的需要。尤其是扩大的 NSF 全球地学计划所支持的基本研究, 是美国全球变化研究的关键部分。

◆发展地球系统科学的信息系统, 以便处理全球资料; 促进资料分析, 解释和由科研部门对地球系统过程进行定量模拟。同时也为未来几十年作进一步研究奠定基础。

◆仪器研制和技术发展, 目的在于为 90 年代中期进行的各种卫星试验作准备, 这些试验是地球系统科学综合观测计划的一部分。

地球系统科学观测计划: 1995 年以后

◆对地球进行综合性全球观测新时期的开始, 以满足对全球变量进行持续长期观测, 及以全球尺度对地球及其历史进行基本描述和过程研究的科学需要。这一观测的新时期要求:

●空间的地球观测系统 (Eos), 采用安放在极轨平台上的综合观测仪器系列, 并提供下列三套补充装备系列:

——NASA 系列(1989 年开始仪器研究);

——NOAA 系列(1989 年启用新仪器);

——其他国家提供的系列, NASA 将于 1990 年重新用 Eos。

●从地面、飞机、气球和船上进行相互补充的全球研究测量;

●继续完成 NASA 的地球系统探测器研究任务系列, 包括:

——热带降雨探测器任务 (TREM, 始于 1991 年);

——磁场探测器-马格诺利亚任务 (MFE/ Magnolia, 始于 1993 年);

——中间层-热层探测器任务 (MTEM, 始于 1995 年);

——重力梯度仪探测器任务 (GGEM, 始于 1997 年)。

●为支持从地球同步轨道上进行的新一代研究和业务观测而设计的高级地球同步平台。

◆地球系统科学信息系统的扩展和有效利用。

◆各联邦机构对基本研究和过程研究的扩展而协调的跨学科计划予以持久的支持。

立即开始的项目:

◆制定新的管理政策和建立能促进 NASA, NOAA, NSF 以及其他从事地球系统科学和全球变化研究的联邦机构之间协调的运行机制。

◆加强国际协议和合作, 以真正实现对地球进行全世界范围的研究。

# 目 录

译者的话 .....	i
序言 .....	iii
前言 .....	v
推荐计划概述 .....	xi
<b>1 全球未来的研究 .....</b>	<b>1</b>
1.A 地球系统科学：全球观点的出现 .....	3
1.B 目标：在所有时间尺度上认识地球的演化 .....	4
地球远景展望 .....	6
1.C 挑战：几十年至几百年的全球变化 .....	7
1.D 行动的时机 .....	8
1.E 本报告阅读指南 .....	9
1.F 本报告的涉及范围 .....	10
美国国家科学院的研究摘要 .....	10
小结 .....	11
<b>2 地球系统科学：研究全球变化的新方法 .....</b>	<b>13</b>
2.A 历史的回顾 .....	13
2.B 地球系统过程 .....	15
2.C 地球系统是怎样运行的：概念模式 .....	18
2.C.1 几千年至几百万年的时间尺度 .....	18
2.C.2 几十年至几百年的时间尺度 .....	19
2.D 地球系统科学的研究途径 .....	20
重要的概念和术语 .....	22
小结 .....	22
<b>3 几千年至几百万年的全球变化 .....</b>	<b>24</b>
3.A 科学问题 .....	24
3.A.1 早期地球过程 .....	25
叠层石及其在大气组成中的作用 .....	26
3.A.2 地核和地幔过程 .....	27
3.A.3 板块构造 .....	30
板块构造的证据 .....	33

3.A.4	太阳驱动过程 .....	35
3.A.5	国际计划和协调 .....	36
3.B	需要进行的观测和过程研究 .....	36
3.B.1	板块运动 .....	37
3.B.2	板块变形 .....	38
3.B.3	地极运动和地球转动 .....	39
3.B.4	随时间变化的磁场 .....	40
3.B.5	陆地表面资料 .....	40
3.B.6	重力大地水准面和地壳磁性 .....	40
3.B.7	全球的地震(波)特征 .....	41
3.B.8	研究重点和过程研究 .....	41
小结	.....	42
<b>4</b>	<b>几十年至几百年的全球变化</b> .....	<b>44</b>
4.A	科学问题 .....	44
4.A.1	物理气候系统 .....	45
水的全球变化	.....	50
4.A.2	生物地球化学循环 .....	52
4.A.3	系统的相互作用 .....	57
4.B	需要的观测和过程研究 .....	60
4.B.1	外部作用力 .....	62
4.B.2	对辐射和化学有重要影响的微量成分 .....	63
4.B.3	大气响应变量 .....	64
4.B.4	陆地表面的性质 .....	65
4.B.5	海洋变量 .....	66
小结	.....	67
<b>5</b>	<b>古气候: 短时间尺度间的联系</b> .....	<b>69</b>
5.A	科学问题和需要的观测 .....	69
5.B	研究重点和过程研究 .....	72
太阳: 关键的驱动器	.....	74
小结	.....	75
<b>6</b>	<b>模拟</b> .....	<b>76</b>
6.A	地球系统模式的提出 .....	77
6.B	模式的检验 .....	78
6.C	现有模式的状况 .....	79
6.D	模式的组装 .....	79
6.E	预报的可行性 .....	80
6.F	所需的组织和基础结构 .....	81
小结	.....	81
<b>7</b>	<b>仪器和技术的发展趋势</b> .....	<b>83</b>
7.A	观测能力 .....	83

7.A.1 空间观测仪器 .....	84
7.A.2 现场测量系统 .....	87
7.B 发射能力和宇宙飞船的维护 .....	91
7.C 计算能力 .....	93
7.C.1 超级计算 .....	93
7.C.2 高级工作站 .....	94
7.C.3 网络 .....	95
小结 .....	97
<b>8 地球系统科学的观测和信息系统: 特色和发展 .....</b>	<b>99</b>
8.A 地球系统科学观测计划的设计 .....	99
8.A.1 全球变量与过程研究 .....	100
8.A.2 空间与现场观测 .....	102
8.A.3 硬件集成与软件集成 .....	103
8.A.4 经验资料与模式模拟数据 .....	103
8.B 仪器的研制和解释技术 .....	105
8.C 观测平台 .....	106
8.C.1 地球观测系统 (Eos) .....	106
8.C.2 地球系统探测器任务 .....	107
8.C.3 高级的地球同步平台 .....	107
8.C.4 其他观测平台 .....	107
8.D 测量系统的完整性 .....	108
8.E 地球系统科学的信息系统 .....	109
小结 .....	113
<b>9 推荐的计划 .....</b>	<b>115</b>
9.A 推荐计划的执行 .....	115
9.A.1 近期计划: 1987—1995 年 .....	115
9.A.2 地球系统科学的观测计划: 1995 年以后 .....	117
9.A.3 立即开始的项目 .....	118
9.A.4 对推荐项目的展望 .....	118
9.B 计划的组成部分 .....	133
9.B.1 全球变量的持续长期测量 .....	133
9.B.2 地球及其历史的基本描述 .....	134
9.B.3 研究重点和过程研究 .....	135
9.B.4 地球系统模式的发展 .....	135
9.B.5 地球系统科学的信息系统 .....	136
9.B.6 联邦机构的协调 .....	136
9.B.7 国际合作 .....	137
9.C 联邦机构的作用 .....	139
9.C.1 NASA 的作用 .....	140
9.C.2 NOAA 的作用 .....	142
9.C.3 NSF 的作用 .....	142

9.C.4	NASA, NOAA 和 NSF 之间的合作	144
9.C.5	其他机构	144
9.D	推荐的空间任务	144
9.D.1	继续执行的和业已批准的近期空间研究任务	144
9.D.2	地球系统探测器任务	146
9.D.3	其他示范仪器的飞行	147
9.D.4	地球观测系统 (EoS)	148
9.D.5	地球同步平台	151
9.D.6	推荐的空间任务进度表	151
9.E	其他问题	151
9.E.1	商业计划	151
9.E.2	NASA 的应用计划	152
9.E.3	NOAA 的业务计划	153
小结		153
跋:	科学团体间的相互影响与教育	156
附录 A	为获取全球数据的观测计划	157
附录 B	地球观测系统: 试行计划的设计	160
附录 C	与地球系统科学有关的近期报告节选	163
附录 D	缩略词、缩写与术语	164
附录 E	重要的概念和术语	174
附录 F	参加研究人员	176

# 1 全球未来的研究

我们居住的这个世界是怎样的？生命是怎样产生的？我们的未来如何？在人类好奇而又尽力想了解的无数个命题中，不宁静的海洋和大气，漂移着的岩层和冰层，种类繁多的生命等，已经成为我们关注的中心。

长期以来，人们一直在寻求对于地球及其组成部分、地球构造和演化规律的科学认识。形成地球的某些过程是由几百万年以前那些剧烈的地球物理作用力而引起的；而另一些过程则反映出全球生物(包括人类社会)的较快影响。在很多情况下，对这些过程的研究会产生对人类大有裨益的实际应用。对地球进行研究历来有两个推动因素：将地球作为行星来认识和寻求实际效益。

当今，一个新的推动力激励着人们去探索有关地球的知识。对于地球演化的戏剧性事件，人类已不再是消极的旁观者了。通过几代人期间内人类的经济和技术活动，人们正在对地球上重要的全球变化做出贡献，已成为地球系统的一个组成部分和影响地球变化的因素之一。正是这些因素促使着环境发生变化，对此，我们却知之甚少，而这些变化对我们的子孙后代却有着潜在的严重后果。因此，人类面临的全球变化的挑战，已成为研究地球的特别重要的促动因素(图 1.1)。

人类在全球变化中的明显作用要求我们尽快地提出全球研究的综合计划，这个计划应超越传统的学科界限，以便探索那些使地球产生演变的大气、海洋、冰、固体地球以及生物系统之间的相互作用。这种研究还必须包括那些具有完全不同时间尺度的过程之间的相互作用。这些相互作用共同决定了地球的历史，并将决定地球的未来。不管我们能够还是应该影响那些自然规律，我们仍然必须努力了解它们。一方面是为了更好地认识我们的地球，另一方面也是为了更全面地了解人类活动的后果。

为此，我们提出一个新的目标：通过描述地球系统各部分及其相互作用的演化、运行，以及在所有时间尺度范围内将会怎样继续演化等，获得对整个地球系统的科学认识。

同时，我们面临一个新的直接挑战：发展预报未来十年到百年内将发生的、由自然和人类活动引起的全球变化的能力。

地球系统科学委员会在这份报告中正式通过了涉及到目标和挑战的研究途径，并且

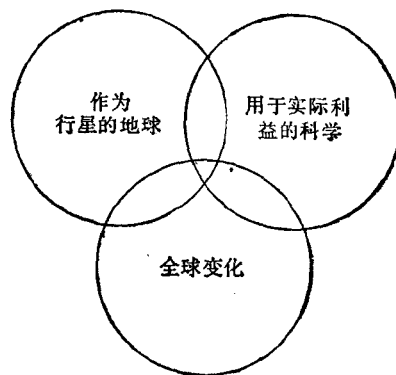


图 1.1 地球系统科学：三个推动因素



对详细的执行战略提出了建议；其目的是为了在十年或二十年内在上述两方面取得较大进展。还希望在有关国际计划范围内，本建议将对涉及全球变化的美国国家计划的发展做出贡献。

在自己的权限范围内，委员会首先确定了空间技术和观测能为之做出突出贡献的研究领域。由于空间透视具有独特的优越性，这种确定对于在全球规模的研究中取得全面进展，从而实现既定目标是很关键的。随后，在处理今后几十年至几百年的时间尺度范围内全球变化的一些比较特殊的问题方面，委员会发现还必须要考虑到，空间观测需要现场观测的支持和补充，因为这也是迎接直接挑战所必需的。由于委员会的研究主要集中在上述目标和挑战方面，因此，本报告不打算介绍地球科学的所有方面的执行战略。

这些建议首先提交给美国宇航局，并应特别要求，提交给美国海洋与大气局。由于补充的现场观测和基础研究工作对于全球变化研究起着必不可少的作用，委员会正向国家科学基金委员会提交报告。地球系统科学委员会还考虑到了其它一些美国机构，例如，美国地质调查局，能源部和海军研究局在地球系统科学中的作用，并将其置于旨在进行全球地学研究的国家和国际研究计划范围之内。

如果决定和承诺付诸实行，地球系统科学委员会所建议的计划将同科学史上任何计划一样会给我们带来戏剧性的和人类利害有关的知识报答。这一研究计划的预期成果至少包括下列几项：

**全球测量：**建立世界范围观测，这对于认识那些引起所有时间尺度地球演变的物理、化学和生物过程是必要的。

**全球变化资料：**记录未来几十年在地球系统中将会实际发生的那些变化。

**预报：**采用定量的地球系统模式来验证和模拟全球变化趋势。

**信息库：**对那些针对全球变化后果作出有效决策所必须的资料进行汇编。

在本报告中不考虑这些预期研究成就的经济、社会和政治意义。但是，在这些新知识的

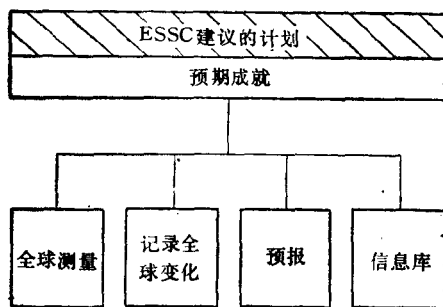


图 1.2 地球系统科学委员会推荐的计划：  
预期成就

的指导下(图 1.2)，地球上的人类社会可能会对某些问题引起重视，例如：改进化石燃料和矿产资源的利用；为重新安排主要粮食生产区域进行政治、社会和技术规划；对化学废料的处理进行控制；或根据干旱预测而对水资源进行重新分布等。

我们最大的关心莫过于这个星球的未来以及依赖于它的生命。对太阳系的其他星球的探索已经证实了我们这个世界在它们中间所占的非常特殊的地位：唯一有生物圈的星球；唯一有充裕的氧气和液态水的星球；唯一有板块构造过程不断更新地表结构，使生命所必需的营养物质反复循环的星球。为保护地球以便未来人类得以居住，我们必须对全球过程有一个更深刻的科学认识。现在是通过地球系统科学(第 2 章)和地球系统科学委员会提出的计划(第 9 章)的研究来响应这一挑战的时候了。

现在是通过地球系统科学(第 2 章)和地球系统科学委员会提出的计划(第 9 章)的研究来响应这一挑战的时候了。

## 1.A 地球系统科学：全球观点的出现

我们关于地球的大部分知识已经集中在传统的地学学科之中，例如：气象学传统上涉及到大气的结构和动力学，植物生理学研究呼吸和光合作用的速率，地质学研究火山过程和沉积过程等。

但是，在过去的几十年中，三项重大发展集中向我们揭示(实际上是强迫我们接受)一个关于地球的新观念，这就是应当将地球看作是一个综合系统，对这一系统的研究必须跨越学科的界限。

的第一项是是三项发展中很多学科自身的成熟性。这种成熟性已经促进了对于各学科之间基本联系和相互依赖性的认识。地球各部分之间的全球联系在上个世纪才得到公认。但是，只是最近才认识到，为了获得实质性的研究进展，某一学科方面的科学家们已经面临要从其它学科吸取其主要成就的需要。例如，目前海洋学若干方面的继续进展需要有关大气-海洋相互作用，极地冰区的影响以及海洋生物群分布和生产力等方面比较全面的知识；大气科学中取得某些进展的关键在于更好地认识全球生物学(包括人类社会)在生物地球化学循环中的作用，以及对由火山爆发引起的扰动的见解，后者只能从对地壳运动和地幔环流所进行的持续研究中获得；对气候的更深刻认识则需要实际上包括海洋学、大气科学、地质学和地球物理学在内的地球科学以及生物学的知识。

第二项发展是我们可以从空间对地球进行新的观察，这种观察既是全球性的，也是天气尺度的。空间观测首次为我们提供了迅速而有效地从全球的角度洞察我们这个星球很多特征的手段。这些卫星观察是如此地强有力而具有揭示性，因而成为地球科学未来研究中的必不可少的手段。不仅如此，从空间观察地球还排除了把国家区分开来的政治界限，它促进了关于这个地球上人类具有共同命运这一新意识的形成，这对于目前研究工作所需要的国际合作是一个极大的推进。

第三，过去的几十年中，把敏感的焦点放在了人类活动——人口的、技术的和经济的——在导致全球变化中日益增大的作用方面。必须理智地认识的事实是，在几百万年和更长的时间尺度内，地球的演变是由超出我们控制的自然因素作用的结果，而下述事实则完全是另一回事，这就是我们自己正在促进地球气候和生物的变化，这种变化将由我们的子孙后代来经受。为了认识由我们自己的行为所造成的后果，我们必须首先认识地球系统本身的运转状况。

传统学科的成熟，从空间对地球进行全球观察以及承认全球变化中人类的作用等共同促成了一个研究地球的新方法——地球系统科学。在这一研究方法中，地球系统是作为相互作用着的那些过程的集合，而不是单个组成部分的堆积。期望着对地球各组成部分之间相互作用做更深刻的洞察，地球系统科学利用全球观测技术、概念和数值模式来研究地球的演变和全球变化。

这样一来，我们关于地球系统的新观点是符合下述这样一种直观看法，即地球的所有组成部分一定以某种方式共同起着作用。海洋、冰、陆地、大气以及生物系统之间的相互作用是既重要而又复杂的。在这些子系统内部和子系统之间，能量和物质的输送跨越了很宽的时间尺度而发生在全球范围内。关于全球变化的决定性见识不仅来自对那些当代