



创建世界一流大学项目资助教材

朱 诚
谢志仁
申洪源

等编著

全球变化 科学导论

An Introduction to Global Change Science

南京大学出版社



中国科学院
中国科学院
中国科学院

全球变化 科学导论

An Introduction to Global Change Science

王世杰 主编



创建世界高水平大学项目资助教材

朱 诚
谢志仁 等编
申洪源

全球变化 科学导论

An Introduction to
Global Change Science

南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

全球变化科学导论/朱诚等编著. —南京: 南京大学出版社, 2003. 10

ISBN 7-305-04136-X

I. 全... II. 朱... III. 全球环境—变化—研究
IV. X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 063121 号

丛 书 名 创建世界高水平大学教材
书 名 全球变化科学导论
编 著 者 朱 诚 谢志仁 申洪源 等
出版发行 南京大学出版社
社 址 南京市汉口路 22 号 邮编 210093
电 话 025-3596923 025-3592317 传真 025-3686347
网 址 <http://press.nju.edu.cn>
电子邮件 nupress1@public1.ptt.js.cn
经 销 全国各地新华书店
印 刷 南京紫藤制版印务中心
开 本 787×960 1/16 印张 22 字数 380 千
版 次 2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷
印 数 1—2000 册
ISBN 7-305-04136-X/X·17
定 价 40.00 元

* 版权所有,侵权必究

* 凡购买南大版图书,如有印装质量问题,请与所购
图书销售部门联系调换

前 言

1995年10月11日,瑞典皇家科学院将诺贝尔化学奖授给了三位研究臭氧洞形成理论的杰出科学家,他们是:荷兰的保罗·柯鲁森(Paul Crutzen),气象学博士,瑞典皇家科学院院士;美国的马里奥·莫利纳(Mario Molina),物理化学博士,美国科学院院士;美国的舍伍德·罗兰德(Sherwood Rowland),化学博士,美国科学院院士。

上述事实不是偶然现象,它反映了近些年来由于时代的发展、科学的进步、社会的需要,全球变化已经成为一门全人类共同关注的世界前沿科学。全球变化具有多学科交叉的特点,是一门具有很强生命力和新生长点的科学。全球变化研究涉及的内容不仅是各国科学家关心的问题,也是许多国家政府首脑甚至全人类共同关心的问题。不少地学家提出,21世纪地学主要解决的问题就是全球变化问题。

众所周知,当前全球正面临着以下十大环境问题:①大气污染;②温室效应加剧;③地球臭氧层减少;④土地退化和沙漠化;⑤水资源短缺、污染严重;⑥海洋环境恶化;⑦“绿色屏障”——森林锐减;⑧生物种类不断减少;⑨垃圾成灾;⑩人口增长过快。全球变化研究正是国际科学界为迎接上述全球性环境问题的挑战而开展的由各国科学家共同合作的重大科学研究新举措。

我们高兴地看到,自1986年国际科学联合会(ICSU)第21届大会开展国际地圈-生物圈计划(IGBP)以来,中国的全球变化研究已与世界其他国家一样有了进展,有关全球变化研究的学术论文、专著不断涌现,与全球变化研究有关的国内外的学术会议已成为当前国内外学术会议的主流,越来越多的科学家和青年学者正踊跃投入全球变化研究的领域。

但我们也应看到,全球变化研究科学在我国高校课程设置中才

刚刚起步,目前我国只有少数高校开设这方面的课程,张兰生教授等学者2000年编著出版的《全球变化》一书介绍了全球变化研究的基本理论,是我国第一本较系统的全球变化科学方面的高校教材。

本书编者近年承担了江苏省教育厅面向21世纪教学改革重点基金“全球变化与可持续发展”研究项目,在编制了多媒体教学课件的同时,还在前人编著此类教材的基础上增添了近年国内外全球变化研究领域内的新进展及新内容。本教材思想体系得益于符淙斌教授近年在南京大学所做“地球系统科学”专题报告及叶笃正院士等《中国的全球变化预研究》一书的启发,全书共分为“全球变化研究的基本问题”、“全球变化研究的主要方法”、“环境演变与全球变化”和“人类活动与全球变化”四篇,分别由以下人员完成:

朱诚(前言,第一章,第二章,第三章第一、二节,第十章,第十二章第六、七、八、九节,第十三章);谢志仁(第六章,第七章);申洪源(第三章第三、四节,第五章,第八章,第九章第二节,第十一章,第十二章第一、二、三、四节);李德文(第九章第一节);王腊春(第十二章第五节);谢顺平(第四章)。贾玉连、魏灵参与了部分文献翻译工作;郑朝贵承担了部分插图清绘工作;全书由朱诚和申洪源统稿,谢志仁参与了全书策划和审稿工作。

可以说,这本教材的出版从一个侧面反映了全球变化研究科学作为一门前沿性新学科蓬勃发展、不断创新的特点。因编者水平有限,加之编写时间仓促,当前全球变化研究的某些重要内容可能未列入本教材中,希望广大读者提出宝贵意见便于我们今后作进一步修改。但我们相信,此教材的出版将有利于高校师生和科研人员进一步了解全球变化研究的基本理论、方法及其发展动态,有利于我国全球变化研究的进展,有利于推动我国高校教学内容的创新与改革。衷心期望我国全球变化研究与教学能走在世界前列。

在此,衷心感谢江苏省教育厅和南京大学教务处领导陈云棠教授、南京大学出版社领导及薛志红老师对本教材出版所给予的大力支持和协助。

编 者

2003年4月28日于南京大学

目 录

前言	1
第一篇 全球变化研究的基本问题	
第一章 全球变化科学产生的背景及其研究内容和意义	1
第一节 全球变化科学产生的背景	1
第二节 全球变化科学研究的主要内容及意义	7
第二章 全球变化的主要特征与过程	14
第一节 全球变化的时空谱特征	14
第二节 全球变化的驱动力	18
第三节 全球变化的三大循环过程	25
第四节 冰期—间冰期与米兰柯维奇天文理论	37
第二篇 全球变化研究的主要方法	
第三章 过去全球变化的重建	44
第一节 黄土堆积与古土壤信息载体	44
第二节 深海氧同位素记录	58
第三节 冰岩芯记录	63
第四节 其他记录	66
第四章 遥感与地理信息系统在全球变化研究中的应用	75
第一节 遥感与地理信息系统的基本原理	75
第二节 资源遥感	85
第三节 环境与灾害监测	91
第三篇 环境演变与全球变化	
第五章 自然环境突变事件	100
第一节 天体撞击事件	100
第二节 气候突变事件	104
第三节 其他突变事件	113

第六章 全球冰雪圈变化	123
第一节 全球冰雪圈状况	123
第二节 冰川与全球变化	131
第七章 全球海面变化	147
第一节 海面变化的基本概念	147
第二节 海面在历史时期和近期的变化	151
第三节 未来海面变化趋势及对人类的影响	159
第八章 厄尔尼诺与南方涛动	177
第一节 厄尔尼诺	177
第二节 南方涛动	182
第三节 ENSO 对全球气候变化的影响及预测	186
第九章 青藏高原隆升及其环境效应	200
第一节 青藏高原隆升过程	200
第二节 青藏高原隆升的环境效应	209
第十章 臭氧层的破坏及其环境效应	223
第一节 臭氧洞的形成	223
第二节 臭氧洞增大对人类生存环境的影响	232
第四篇 人类活动与全球变化	
第十一章 温室效应与全球变暖	237
第一节 气候变化的观测事实及后果	237
第二节 一万年来中国的气候变化	240
第三节 地球大气组成的变化与温室效应	250
第四节 人类活动对气候变化的影响	264
第五节 关于气候变化的国际谈判进展	268
第十二章 世界人口与资源环境问题	273
第一节 人口问题	273
第二节 植被破坏	279
第三节 生物多样性锐减	281
第四节 土地退化和沙漠化	286
第五节 水资源短缺和水污染	289
第六节 耕地资源存在的问题	291
第七节 能源与矿产资源存在的问题	292
第八节 大气污染和固体废物	294

第九节 海洋环境污染	299
第十三章 中国主要生态环境问题	306
第一节 中国的人口问题	306
第二节 中国的动植物资源问题	307
第三节 中国的土地退化和沙漠化	309
第四节 中国的水资源问题	315
第五节 中国的耕地资源问题	317
第六节 中国的能源和矿产资源问题	318
第七节 中国生态环境的脆弱性和生态环境敏感带	320
参考文献	324
附录 全球变化研究专业术语中英文对照	334

第一篇 全球变化研究的基本问题

第一章 全球变化科学产生的背景 及其研究内容和意义

第一节 全球变化科学产生的背景

一、全球变化科学产生的过程

全球变化研究的酝酿活动是从 20 世纪 80 年代初开始的。1983 年,在纪念国际地球物理年 25 周年大会上,加兰(Garland)首次提出了物理过程与生物过程相互作用的观点,并将其与自然界尚未揭开的“奥秘”联系起来。1984 年国际科学联合会(ICSU)第 20 届大会组织了一次广泛的讨论会,正式开始了对全球变化研究的讨论。1986 年国际科学联合会第 21 届大会后很快组成了一个由 19 人组成的国际地圈-生物圈计划(IGBP,又称全球变化研究)特别委员会(如图 1-1),在麦卡锡(McCarthy)教授领导下,经过高效率工作,于国际科学联合会第 22 届大会上提出了全球变化研究的计划大纲。

国际地圈-生物圈计划特别委员会下设的协调专家小组和工作小组主要负责以下研究内容:① 陆地生物圈和大气化学的相互作用(CP1);② 海洋生物圈与大气的相互作用(CP2);③ 水循环的生物学方面(CP3);④ 气候变化对陆地生态系统的影响(CP4);⑤ 全球地圈、生物圈模拟(CP5);⑥ 资料和信息系系统(WG1);⑦ 地圈-生物圈观测站(WG2);⑧ 过去的全球变化(SSC)。

全球变化的研究分为 1987~1990 年的制定计划阶段、20 世纪 90 年代初至 21 世纪前 10 年为计划实施阶段,预计将进行长达 20 年的持续观测。

表 1-1 所列的是第一届国际地圈-生物圈计划国际组织的成员,当时我国叶笃正院士是成员之一。

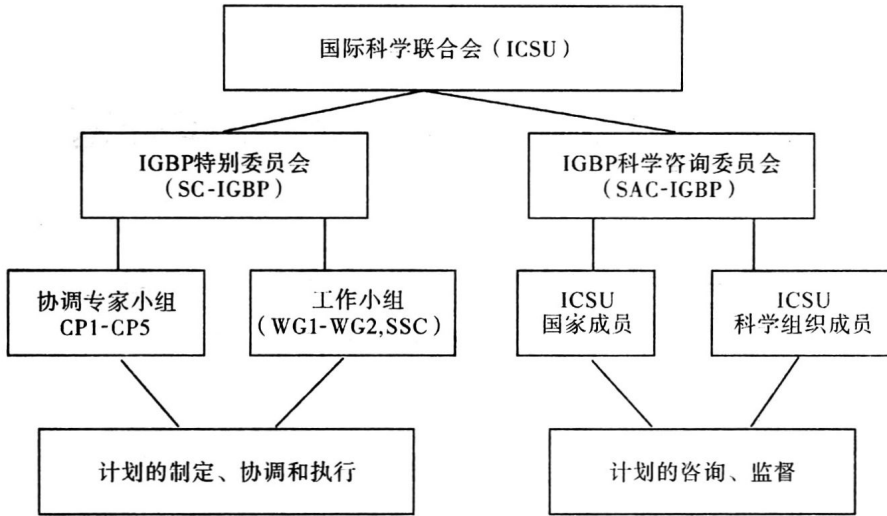


图 1-1 国际地圈-生物圈计划的组织机构

表 1-1 第一届国际地圈-生物圈计划特别委员会

成员一览表(1988~1990年)(陈泮勤,1990)

职务	姓名	国家	职称或职务	当前的研究领域
主席	J. J. McCarthy	美国	生物海洋学教授	海洋生产量的过程
副主席	R. Herrera	委内瑞拉	生态环境中心教授	生物地球化学循环
司库	W. S. Fyfe	加拿大	西安大略大学地质系教授	地球化学资源环境
执行主任	T. Rosswall	瑞典	环境社会科学教授	微生物生态学
执委	P. J. Crutzen	德国	马普协会大气化学主任	大气化学
执委	M. Kotlyakov	俄罗斯	地理研究所所长	冰川学理论和方法
成员	B. Bollin	瑞典	气象学教授	动力气象天气预报
成员	M. L. Chanin	法国	中层大气系主任	高中层大气物理
成员	E. H. S. Diop	塞内加尔	地理系副教授	海岸海湾和古生态
成员	S. Dyck	德国	水文系教授	
成员	J. A. Eddy	美国	跨学科研究办公室主任	太阳物理考古天文
成员	T. Nemoto	日本	海洋研究所所长	生物海洋学
成员	H. Oeschger	瑞士	物理学教授	放射性同位素
成员	S. L. Rasool	美国	NASA 地球科学首席教授	行星和地球热结构
成员	J. S. Singh	印度	生物系教授	草原和生态系统
成员	A. Troitskaya	俄罗斯	地球电磁系主任	日地物理
成员	B. H. Walker	澳大利亚	植物系教授	半干旱生态系统管理
成员	J. D. Woods	英国	海洋学教授	海洋与大气科学
成员	叶笃正	中国	气象学教授	动力气象海气过程

进入 21 世纪以来,目前最新一届由国际科学联合会指定的国际地圈-生物圈计划官员共 32 人,组成见表 1-2。

表 1-2 最新一届国际地圈-生物圈计划官员一览表(2002—2005 年)

职务或研究方向	姓名	国家	单位
主席	Guy P. Brasseur	德国	马克斯·普朗克气象学院
副主席	Paul J. Crutzen	德国	马克斯·普朗克化学学院
副主席	Robert J. Wasson	澳大利亚	澳大利亚国立大学资源与环境研究中心
司库	Seth Krishnaswami	印度	物理研究实验室
上届主席	Berrien Moore III	美国	新罕布什尔大学地球、海洋和空间研究所主任
国际科学联合会指定的官员			
成员	安芷生	中国	中国科学院地球环境研究所
成员	Rodolfo Dirzo	墨西哥	生态研究所
成员	Victor G. Gorshkov	俄罗斯	理论物理系
成员	Takashi Kohyama	日本	北海道大学环境地球科学院
成员	Karin Lochte	德国	基尔大学海洋科学研究所
成员	Pamela Matson	美国	斯坦福大学地质和环境科学系
成员	Michel Meybeck	法国	巴黎大学地质应用实验室
成员	Carlos A. Nobre	巴西	巴西 Cachoeira, Paulista 天气预报与气候研究中心主任
成员	Wandera Ogana	肯尼亚	内罗毕大学数学系
成员	Katherine Richardson	丹麦	奥尔胡斯大学海洋生物系生物科学研究所
成员	Mary Scholes	南非	威特沃德斯兰德大学动植物环境科学系
核心计划主席	Timothy Bates	美国	美国海洋和大气管理局太平洋海洋环境研究室
全球海洋通量联合研究	Hugh Ducklow	美国	弗吉尼亚海洋科学研究所
全球变化的分析研究和培训系统	Sulochana Gadgil	印度	印度科学研究所大气科学中心
全球海洋生态系统动力学	Roger Harris	英国	普利茅斯海洋实验室
植被和水文学	Pavel Kabat	荷兰	瓦格宁根大学水与环境系

续表

职务或研究方向	姓名	国家	单位
土地利用和 土地覆盖变化	Eric F. Lambin	比利时	鲁万(Louvain)大学地理系
地中海相互作用	Han J. Lindeboom	荷兰	荷兰海洋研究所
海洋表层透 光层和大气 之间的交换	Peter Liss	英国	东英格兰大学环境科学院
全球变化的 分析研究和 培训系统	Graeme Pearman	澳大利 亚	联邦科学与工业研究组织大气研 究中心主任
过去的全球变化	Thomas F. Pedersen	加拿大	不列颠哥伦比亚大学海洋学系
陆地地质系统	Louis F. Pitelka	美国	阿巴拉契亚实验室
分析与模拟	John Schellnhuber	德国	波茨坦气候影响研究所
国际合作 主席	Peter Lemk	德国	不来梅阿尔弗雷德·魏格纳极地 海洋研究所
生物多样性 主席	Michel Loreau	法国	巴黎皮埃里·玛丽·居里大学 教授
国际科学联合 会主席	Sir Crispin Tickell	英国	坎特伯雷市肯特大学校长
全球变化的 人文计划科 学委员会主席	Arild Underdal	挪威	奥斯陆大学行政科学系

二、全球变化科学应运而生的背景

全球变化研究科学是在时代的发展、科学的进步、社会的需要情况下产生的,主要表现在以下几个方面:

1. 硬件条件

在20世纪末全球国际性应用的探测器和预测预报系统已有约1 000个高空站、10 000个气象站、3 000个飞行器、7 000艘充气船、500个浮标、长期立体动态信息库,还有全球海洋观测系统、全球陆地观测系统、全球气候观测系统。

2. 社会需求

目前公认存在十大环境问题急需国际合作共同解决,即:

(1) 大气污染:人类在最近一个世纪排放的CO₂增加了20%,全球每年使用矿物燃料燃烧排入大气的CO₂达55×10⁸ t。

(2) 温室效应:从 1950 年至 1985 年,全球排放的 CO_2 、氮氧化物、氯氟烃等物质增加了 20 倍。据统计,世界 6 个工业大国排放的温室气体占全球排放量的 45%,过去 100 年中气候变化最暖的 6 年都在 20 世纪 80 年代。气候专家预计 2025 年全球平均气温将上升 1°C ,到下世纪将上升 $1.5^\circ\text{C}\sim 4.5^\circ\text{C}$ 。在过去 100 年内,世界海面上升 10 cm \sim 15 cm;预计未来 100 年内,全球海面将上升 1 m,沿海许多地区将被淹没,不少岛屿将消失,洪涝、风暴潮灾害将加剧。

(3) 臭氧层被破坏:已发现每年春季南极上空臭氧含量都消失 40% \sim 50%,臭氧层空洞已大如美国国土,欧洲上空臭氧含量在 1992 年 5 月中每天减少 1%,到 2000 年北半球上空臭氧减少了 25% \sim 30%。截止到 2000 年,破坏臭氧层的氯氟烃近 60 年已排放 12×10^6 t,全球每年产生量达 1×10^6 t,其中发达国家占 80%。

(4) 土地沙漠化:每年全球有 5×10^4 $\text{km}^2\sim 7\times 10^4$ km^2 耕地变为沙漠。另有 21×10^4 km^2 耕地完全丧失生产能力,地球陆地 1/3 处于干燥地区,全球约 10 亿人生活在沙漠化威胁地区。联合国环境规划署称,今后 20 年内,每年为控制沙漠化至少要耗资 45 亿美元。

(5) 水的污染:地球水资源为 13.8×10^8 km^3 ,其中 97% 是海水,人类淡水资源严重不足。各国每年工业用水超过 600 km^3 ,而灌溉农田用水多达 $3\ 000$ $\text{km}^3\sim 4\ 000$ km^3 ,受化肥和有毒物质污染的水不少于上述水量总和的 1/3。全球每年 2.5 万人死于水污染造成的疾病。全球 60 亿人口中,12 亿人缺乏卫生安全的饮用水,腹泻病例每年达 10 亿多。

(6) 海洋环境恶化:海洋占地球面积 71%,全世界每年向海里倾倒的垃圾多达 200×10^8 t(包括塑料制品、生活垃圾、工业废料、放射性物品)。每年倒入海洋的石油和污染物分别达到 3.2×10^6 t 和 6.5×10^6 t。海洋污染使沿海居民发生肝炎、霍乱病例增多,鱼虾和海洋生物大量死亡。

(7) 森林锐减:历史上,森林和林地曾占陆地 1/3 以上,但过去 1 万年以来,因人类砍伐和火灾使地球森林面积缩小了 1/3。最近 20 年内全球每年砍伐森林 20×10^4 km^2 。有 22 个国家中的 1 亿人没有足够的林木供其最低限度的燃料需求。欧洲的原始森林几乎完全消失。全球热带雨林仅有原来的 1/2。水土流失、土地沙漠化以及水旱灾害主要由此而生。

(8) 物种濒危:地球上每天有 100 种生物灭绝。现有物种为 1 000 万种左右,到 21 世纪初可能消失的物种为 100 万种。有证据表明,地球 30% \sim 70% 的植物在今后 100 年内将不复存在,20 世纪末处于灭绝边缘的哺乳动物有 406 种,鸟类 593 种,爬行动物 209 种,鱼类 242 种。生物种类大灭绝

的后果将给人类前途带来致命威胁。

(9) 垃圾成灾:地球上的垃圾越来越多,20世纪末仅美国每年就产生工业垃圾 20×10^8 t 以上,城市居民垃圾 2.2×10^8 t,丢弃的旧汽车1000多万辆,废轮胎上亿只。全球危险废物以每年 5×10^8 t 的速度递增。垃圾无孔不入,在珠穆朗玛峰、南极都有垃圾,在太空轨道上有7000多个直径10 cm以上的废物碎块在飘游——是高速运转的太空垃圾。

(10) 人口增加过快:1800年世界人口只有10亿,1930年翻了一番达20亿,1964年达30亿,1987年7月11日达50亿,1999年10月12日已达60亿以上。人口学家估计世界人口正以每年1亿人的速度在递增,到2030年人口可能达100亿。地球资源在开发利用的速度和承载率上目前已赶不上人口增长速度。为保护全球资源和环境,控制人口迫在眉睫。

3. 历史必然性

从人类社会文明发展看,全球变化研究科学的产生是历史进程的必然。1905年发现电离层;1906年发明放射性同位素测年;1915年大陆漂移学说提出;1920年米兰科维奇天文理论提出;1930年臭氧层学说提出;1948年第一个数值天气预报产生;1957年国际地球物理年(开始第一次多学科合作、大规模开展观测);1960年第一张全球卫星图片诞生;1969年人类登月成功。此外,还有臭氧洞的发现、海事卫星的发射和成功使用,直至1986年国际地圈-生物圈计划的制定和实施。也就是说,全球变化研究实际上是上述20世纪以来地球科学发展的里程碑之一。

4. 科学思想代表

从历史角度看,全球变化研究有其科学思想的代表:

(1) 亚里士多德(Aristotle),公元前300年古希腊哲学家和自然科学家,他第一次提出支持生命的物理系统。

(2) 加兰(Garland),1982年国际地球物理学会(IVGG)主席,第一次提出地球系统科学的概念。

(3) 弗里德曼(Friedman),美国科学院物理、数学、资源委员会主席,1983年他第一次提出“全球变化(Global Change)”的概念。从此,人类开始从交叉科学角度将地球作为全球系统开展研究。

(4) 马隆(Malone),1984年国际科学联合会副主席,是他第一个将全球变化研究付诸实施。

全球变化研究这门科学就是在上述背景下应运而生的。

第二节 全球变化科学研究的主要内容及意义

一、全球变化科学研究的主要内容

(1) 研究地球系统复杂的多重相互作用的机制,是目前全球变化最主要的研究内容。

(2) 分析地球系统各种尺度的变化规律和控制这些变化的主要因素。

(3) 建立地球系统变化的预测理论方法。

(4) 提出全球资源和环境科学管理的方法。

目前学术界是将研究作为整体的地球系统的运行机制、变化规律和控制变化的机理(自然的和人为的),并预测未来变化的科学,称为全球变化科学,它研究的是一个行星尺度的问题。全球变化研究是以地球系统科学作为指南,从行星地球整体角度出发,将地球的大气圈、水圈(含冰雪圈)、岩石圈和生物圈看成是有机联系的全球系统,把太阳和地心作为两个主要的自然驱动器、人类活动作为第三促动因素,发生在该系统中的全球变化是在上述力的驱动下,通过物理、化学和生物学过程相互作用的结果。

地球系统是由大气圈、水圈、陆圈(包括冰雪圈,有人称岩石圈)、生物圈和人类本身组成的整体行星地球(图 1-2)。地球系统是具有一系列相互作用过程的耦合(一是各圈层之间的相互作用;二是物理、化学和生物三大基

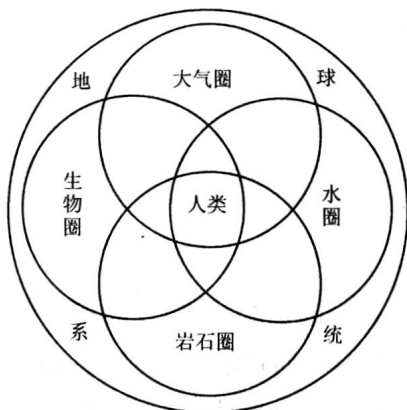


图 1-2 地球系统的结构

本过程和作用;三是人与地球的相互作用),由这三大相互作用过程耦合的复杂系统称地球系统。图 1-3 为地球系统中各圈层之间的能量循环相互作用关系示意图。

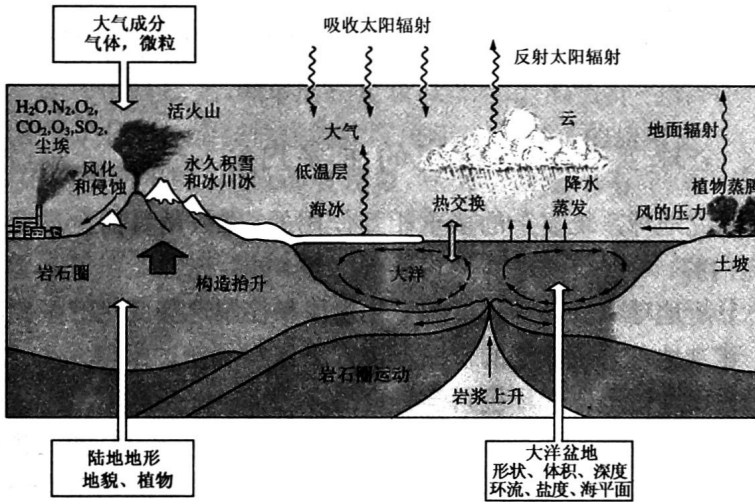


图 1-3 地球系统中各圈层之间的能量循环相互作用关系

(根据 Skinner, et al, 1995 修改)

地球系统包括快变化系统和慢变化系统:

快变化系统:如大气、陆面、上层海洋。从气候角度看,这些是最活跃的系统。快变化系统的变化时间尺度范围从几个月到几年,甚至几百年。

慢变化系统:如深层海洋、冰川冰盖、内地圈。这些系统主要与地球固体气候发展史有关。慢变化系统变化的时间尺度比较长。

二、全球变化研究的相关计划

全球变化研究包括由国际科学联合会、世界气象组织、国际社会科学联合会、国际高级研究机构联合会、联合国教科文组织、环境问题科学委员会、政府间海洋委员会、联合国环境规划署等组织联合协同下开展的一系列核心计划和相关计划,如图 1-4 所示。

(一) 国际地圈-生物圈核心计划

由国际科学联合会负责的国际地圈-生物圈核心计划包括:① 国际全球大气化学计划;② 全球海洋通量联合研究;③ 过去的全球变化;④ 全球变化与陆地生态系统;⑤ 水循环的生物学方面;⑥ 海岸带陆海相互作用;⑦ 全球海洋生态系统动力学;⑧ 土地利用与土地覆盖变化;⑨ 全球分析、综合与模拟;⑩ 数据信息系统;⑪ 全球变化的分析、研究和培训系统。其中,国际地圈-生物圈核心计划的科学目标是:描述和了解控制整个地球系统关键性相互作用的物理、化学和生物过程,描述和了解支持生命的独特环