

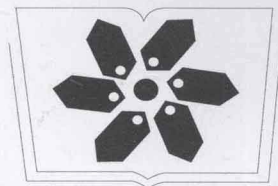


地表过程研究概论

主 编 丁永建 周成虎
副主编 邵明安 陈亚宁 张甘霖



科学出版社



中国科学院科学出版基金资助出版

地表过程研究概论

主 编 丁永建 周成虎
副主编 邵明安 陈亚宁 张甘霖



科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

地表是地球系统中与人类生息最密切的部分。地表过程既包括自然过程,也包括人文过程,涉及与人类生存密切相关的方方面面。本书主要从地表过程研究方法、地表循环过程及综合模拟、中国典型区域关键地表过程等方面对地表过程研究进行梳理和综合,重点在对我国当前地表过程研究成果总结的基础上,结合研究案例对不同地表过程进行分析。本书基本上反映了我国地表过程目前研究的主要领域和趋势。

本书可供大学及以上程度地球科学相关领域各类人员作为科研、教学、学习参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

地表过程研究概论 / 丁永建, 周成虎主编. —北京: 科学出版社, 2013. 1

ISBN 978-7-03-035844-8

I. ①地… II. ①丁… ②周… III. ①地表—研究 IV. ①P931.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 249949 号

责任编辑: 杨帅英 朱海燕 王淑云 / 责任校对: 刘小梅

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2013 年 1 月第一次印刷 印张: 31

字数: 736 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

《地表过程研究概论》编写委员会

主 编：丁永建 周成虎

副主编：邵明安 陈亚宁 张甘霖

编写委员会成员：（按姓氏拼音排序）

陈良富	中国科学院遥感应用研究所
陈亚宁	中国科学院新疆生态与地理研究所
丁永建	中国科学院寒区旱区环境与工程研究所
韩添丁	中国科学院寒区旱区环境与工程研究所
郝兴明	中国科学院新疆生态与地理研究所
黄春林	中国科学院寒区旱区环境与工程研究所
金凤君	中国科学院地理科学与资源研究所
南卓铜	中国科学院寒区旱区环境与工程研究所
邵明安	中国科学院水土保持研究所
谢传节	中国科学院地理科学与资源研究所
徐中民	中国科学院寒区旱区环境与工程研究所
张 奇	中国科学院南京地理与湖泊研究所
张甘霖	中国科学院南京土壤研究所
张世强	中国科学院寒区旱区环境与工程研究所
周成虎	中国科学院地理科学与资源研究所

编写委员会秘书组

秘书长：韩添丁 张世强

秘 书：王文华 樊 军 杨金玲 杨玉海 刘 鹤 秦承志

中国科学院知识创新工程项目群

“地表过程集成系统研究”

项目编号：KZCX2-YW-Q10

专家组：丁永建（组长） 周成虎（副组长）

邵明安 陈亚宁 张甘霖

项目群特邀咨询专家：傅伯杰 刘丛强 冯仁国

宋长青 冷疏影

项目一：地表过程建模环境和模型集成研究

项目负责人：南卓铜 谢传节

项目二：地表关键参数遥感反演与数据同化系统研究

项目负责人：陈良富 黄春林

项目三：典型气候区主要地表过程机理及模拟研究

项目负责人：张 奇 郝兴明

项目四：区域人文过程演化机理与模拟研究

项目负责人：金凤君 徐中民

序 言

2009年中国科学院知识创新工程启动了一批项目群研究项目,“地表过程集成系统研究”为其中之一。3年过去了,项目群也到了总结的时候。很高兴看到作为“地表过程集成系统研究”项目群研究成果之一的《地表过程研究概论》即将付梓,这是项目群全体科研人员共同努力的结果。

地球表层系统(简称地表系统)是指地球表层自然与人类要素的总和,是地球系统的有机组成部分,为地球系统中人类感知最直接,也是最核心的部分。地表过程是地表系统随时间、空间的变化而产生的整体状态和组分序列结构的变化过程。依据研究对象的要素特征,地表过程可分为自然过程和人文过程;按其内在形成与演化机制,地表过程分为物理过程、化学过程、生物过程和人文过程等。可见,地表过程研究内容涉及十分广泛,从要素而言涉及水(水循环、水文过程、水资源利用、水环境等)、土(土壤过程、土地利用、土地覆被变化、土地资源等)、气(大气过程、气候变化、大气环境等)、生(生态过程、生物多样性等)、人(人文过程)。从系统的角度来看,地表系统研究与地球系统科学、全球变化研究和可持续发展密切相关。如何从目前地表过程繁杂多样的研究中理清思路,将地表过程研究推向地表系统科学研究的高度,需要对地表过程目前的研究进行系统梳理,总结综合,以便为今后研究提供参考,《地表过程研究概论》在此方面进行了有益的工作。

《地表过程研究概论》主要从研究方法、循环过程及综合模拟和中国典型区域关键地表过程三个方面对已有研究成果和新取得的认识进行了梳理和总结。第一部分主要涉及目前地表过程研究中所用到的主要方法。论述了地面要素的定位观测和室内模拟、陆地表层参数遥感反演、陆面过程模拟与陆面数据同化、人文地理过程模拟方法等内容。从野外点上的观测到面上遥感数据分析,从点一面一模型结合的数据同化到人文过程的模拟方法,较为系统地总结了地表过程的研究方法。第二部分主要从地表要素循环及其过程模拟的视角对主要地表过程进行了讨论,涉及陆地表层水循环过程及模拟、地表主要生源物质的生物地球化学循环、物质迁移过程与生态环境效应、人文地理与区域经济过程等方面,从物理过程到生物化学循环过程,从自然过程到人文过程,较全面地论述了主要地表过程的循环。在人文过程方面,主要从与地理过程密切相关的区

域经济过程入手，力图将人文过程从定量研究方面与自然过程相结合。第三部分主要分区域论述了我国典型地表过程的区域特征，涉及干旱区内陆河流域生态水文过程、黄土高原土壤侵蚀与干燥化过程、青藏高原冰冻圈-生态-水文过程、三江平原典型湿地景观变化过程、长江三角洲水体-土壤污染过程、京津冀都市圈地区城市化过程、黑河流域自然与人文过程耦合研究等，从东到西、从南到北，选取了在区域上最为主要的地表过程表征进行了论述，从而使读者更加清楚地了解到中国不同区域地表过程的关键所在。

需要指出的是，该专著还只是对现有地表过程的综合论述，主要是从单要素地表过程开展的一些工作，如何从地表系统的视角去认识地表自然和人文过程及其相互关系是国际未来关注的重点。正如该专著在绪论和未来思考中所论及的那样，国际上地球系统科学、全球变化研究与可持续发展研究等这些关注热点，以及需要从“系统”角度认识地球系统的研究均涉及地表过程问题。实际上，从研究的理论、方法和尺度上看，目前的主要注意力均聚集在地球表层。专著最后提出开展“地表系统科学”研究，将其从传统的、多样的、无序的、笼统的、概念性的“地表过程”研究提升到独立科学的研究高度，是值得关注的方向。实际上，早在20世纪80年代钱学森先生提出“地球表层学”，到90年代黄秉维先生倡导开展“陆地系统科学”，强调从系统科学的角度研究地表过程问题已经二三十年了，这些当时十分先进的理念与国际上地球系统科学、全球变化研究和可持续发展概念基本上是同步的，只是没有得到重视和向更加深入方向发展。该专著的出版也有意推动“地表过程”研究向“地表系统科学”研究方向发展，本人对此十分赞赏，未来也应得到各方面的支持。

中国科学院院士 秦大河

2012年3月

前 言

人类对地球系统最直接感知和认知的对象就是地球表层系统（简称地表系统）。其研究涉及自然、人文、经济社会诸方面各种要素、过程及其相互作用。因此，地表系统研究是一个较为复杂的学科体系，是多种学科共同针对地表系统的诸方面研究的集合体，展现的是综合、交叉、集成的研究特色。2008年中国科学院围绕知识创新工程目标，酝酿启动一批以多个项目、同一目标为组织和研究形式的项目群，基于对地表过程研究重要性的认识，地表过程研究作为项目群之一纳入到论证行列。2009年“地表过程集成系统研究”项目群正式启动，为期三年。本专著就是该项目群的研究成果之一。

“地表过程集成系统研究”项目群由四个项目组成，分别是“地表过程建模环境和模型集成研究”、“地表关键参数遥感反演与数据同化系统研究”、“典型气候区主要地表过程机理及模拟研究”和“区域人文过程演化机理与模拟研究”。项目群试图从地表过程模型模拟平台、数据、自然和人文过程典型案例等四个方面，从“系统”的视角开展地表过程研究。项目群在组织形式上由专家组负责顶层把关，各项目首席科学家负责项目科学目标的实施。在整个项目群设计和实施中，大家深感从系统的角度考虑，地表过程研究涉及广泛，是一个十分复杂的巨系统，有必要对目前国内外研究状况和中国已有的研究成果进行综合分析和研究，并结合本项目群前期初步研究成果形成一本集中反映地表过程诸要素研究进展的专著。基于这样的共识，在项目群专家组领导下，伴随着项目群各项目的研究过程，在全体项目群科研人员共同参与下，历时三年，召开了八次专门研讨会议，数易其稿，才有今日之版本。

本专著第一章为绪论，讨论和梳理了地球系统科学、地表系统科学、地表过程等的定义及其相互关系。在此基础上，对国际地表过程研究现状和趋势、国内研究进展和面临的挑战进行了分析。全书核心内容共分三篇。第一篇为地表过程研究方法，涉及地表要素的定位观测、地表参数的遥感反演、陆面过程模拟与陆面数据同化和人文地理过程模拟方法等内容，主要介绍了目前在地表过程各要素研究中所涉及的各种观测、试验、反演、分析和模拟方法；第二篇为主要地表过程及综合模拟，重点在陆地表层水循环过程、元素生物地球化学循环、物质迁移过程、人文地理与区域经济过程等方面从要素循环的视角对地表物理、化学和生物主要过程进行了论述；第三篇为中国典型区域关键地表过程，选取了干旱区内陆河流域生态水文过程、黄土高原土壤侵蚀与干燥化过程、青藏高原冰冻圈-生态-水文过程、三江平原典型湿地景观变化过程、长江三角洲水体-土壤污染过程、京津冀都市圈地区城市化过程、黑河流域自然与人文过程等具有地域代表性的典型地表过程进行了分析。在专著的最后一章，从“地表系统科学”角度对未来研究进行了一些探索性的讨论，期望能够通过独立学科的建设，将地表过程研究推向地表系统科学的高度，使其成为地球系统科学和可持续发展的重要科学基础。

本专著第1章由丁永建、张世强、韩添丁、南卓铜撰写，曲建升、张波和王金平完成其中的文献分析内容；第2章由樊军、邵明安、黄明斌撰写；第3章由陈良富、施建成、柳钦火、辛晓洲、李丽、张海龙、谢酬、姬大彬、唐伯惠、徐元柳、蒋玲梅、晋锐、杜今阳撰

写；第4章由黄春林、陈莹莹、阳坤、李新、朱高峰、车涛、韩旭军撰写；第5章由金凤君、刘慧、徐中民、戴特奇、张华、李扬、刘玉卿、武文杰、唐志鹏撰写；第6章由张奇、李相虎、徐力刚、郭华撰写；第7章由邢光熹、徐仁扣、赵旭、王盛强撰写；第8章由徐仁扣、杨金玲、李恒鹏、张甘霖撰写；第9章由刘慧、金凤君、徐中民、王成金、戴特奇、张华、李扬、刘玉卿撰写；第10章由陈亚宁、杨玉海、郝兴明、叶朝霞撰写；第11章由黄明斌、王百群、樊军撰写；第12章由韩添丁、丁永建撰写；第13章由张树清、温兆飞撰写；第14章由王晓龙、章海波、张奇撰写；第15章由金凤君、王传胜、刘慧、何丹、张华、李扬、刘鹤、孙贵艳撰写；第16章由刘玉卿、王康、徐中民撰写；第17章由丁永建、张世强、南卓铜、韩添丁撰写。所有撰稿人均参与了其他章节的交叉审稿。全书第一篇由邵明安总负责，第二篇由周成虎、张甘霖总负责，第三篇由陈亚宁总负责。丁永建、周成虎、邵明安、陈亚宁和张甘霖对全书进行了统稿。

在项目群执行和专著写作过程中，得到中国科学院生态环境研究中心傅伯杰院士、中国科学院贵阳地球化学研究所刘丛强院士、国家自然科学基金委员会地球科学部宋长青研究员和冷疏影研究员的指导。中国科学院资源环境科学与技术局冯仁国副局长、黄铁青处长、翟金良副处长、赵涛博士给予多方关注，提出了许多建设性意见和建议，在此深表感谢。

项目群参加单位的许多人员为项目研讨提供了多方面支持，他们是中国科学院寒区旱区环境与工程研究所的王文华、上官冬辉、赵传成，中国科学院地理科学与资源研究所的刘鹤、秦承志，中国科学院、西北农林科技大学水土保持研究所的樊军，中国科学院新疆生态与地理研究所的杨玉海，中国科学院南京土壤研究所的杨金玲，广东省生态环境与土壤研究所吴志峰研究员和办公室曾晓舵主任，还有其他一些做出默默奉献的幕后人员，在此一并表示衷心感谢！由于地表过程的多样性和复杂性，参与写作人员较多，文稿中难免出现各种问题，在专著行将出版之时，编著者诚惶诚恐，唯期待读者给予批评指正，好在促进我国地表过程研究不断向前迈进是我们共同的目标。

目 录

序言

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 地表过程研究概述	1
1.2 国际地表过程研究进展与趋势	12
1.3 我国地表过程研究进展与机遇	28
参考文献	41

第一篇 地表过程研究方法

第 2 章 地表过程要素的定位观测和室内模拟	47
2.1 气象要素观测方法	47
2.2 植物要素观测方法	47
2.3 土壤要素观测方法	49
2.4 水要素观测方法	55
2.5 通量观测方法	57
2.6 要素观测网络	58
2.7 室内模拟观测	61
参考文献	63
第 3 章 陆地表层参数遥感分析	65
3.1 陆地表层参数遥感反演现状	65
3.2 辐射与能量平衡参数遥感反演	67
3.3 水循环参数遥感反演	70
3.4 植被生态系统参数遥感反演	79
参考文献	82
第 4 章 陆面过程模拟与陆面数据同化	85
4.1 陆面过程模拟	85
4.2 陆面数据同化	93
参考文献	103
第 5 章 人文地理过程模拟方法	108
5.1 人文地理过程基本模型	108
5.2 人口与经济过程模拟	112
5.3 区域生态经济过程模型	116
5.4 城市化过程模拟方法	120

参考文献	123
------	-----

第二篇 主要地表过程及综合模拟

第6章 陆地表层水循环过程及模拟	129
6.1 陆地表层水循环过程	129
6.2 陆地表层水循环过程模拟	137
6.3 研究热点与发展趋势	154
参考文献	155
第7章 碳、氮、磷、硫的生物地球化学循环	160
7.1 碳循环	160
7.2 氮循环	166
7.3 磷循环	180
7.4 硫循环	190
7.5 结语	197
参考文献	198
第8章 物质迁移过程与生态环境效应	201
8.1 岩石风化与土壤形成过程及其生态环境效应	201
8.2 氮、磷迁移与地表水体富营养化	211
8.3 污染物迁移与人体健康	219
参考文献	226
第9章 人文地理与区域经济过程	233
9.1 人文地理过程的基本原理	233
9.2 经济集聚与扩散过程机理与测度	238
9.3 人口与城市化过程	241
9.4 土地利用与土地覆被变化过程	250
9.5 区域生态经济过程	253
参考文献	263

第三篇 中国典型区域关键地表过程

第10章 干旱区内陆河流域生态水文过程	271
10.1 内陆河流域生态系统结构与生态水文问题	271
10.2 绿洲水盐过程及调控措施	280
10.3 荒漠河岸林植被生态过程与水文机制	285
10.4 荒漠区生态需水模型及其应用	289
参考文献	295
第11章 黄土高原土壤侵蚀与干燥化过程	300
11.1 黄土高原土壤侵蚀过程	300
11.2 黄土高原土壤干燥化过程	312
参考文献	324

第 12 章 青藏高原冰冻圈与生态和水文过程 328

12.1 青藏高原地表过程的区域特征 328

12.2 区域水文过程及其水文-生态效应 330

12.3 区域灾害过程 342

参考文献 343

第 13 章 三江平原典型湿地景观变化过程 346

13.1 典型沼泽湿地景观格局时空变化过程 348

13.2 典型沼泽湿地景观格局变化定量分析 351

13.3 湿地的空间动态变化过程模拟 355

参考文献 362

第 14 章 长江三角洲水体-土壤污染过程 364

14.1 典型湖泊污染特征 364

14.2 土壤污染特征 378

参考文献 389

第 15 章 京津冀都市圈地区城市化过程 393

15.1 城市化发展的动力机制 393

15.2 人口与经济空间过程模拟 399

15.3 土地利用变化过程模拟 409

15.4 城镇体系过程模拟 418

参考文献 427

第 16 章 黑河流域自然与人文过程耦合研究 428

16.1 上游自然过程与人文过程的耦合 428

16.2 中游自然过程与人文过程的耦合 441

参考文献 451

第 17 章 地表过程未来研究若干思考 452

17.1 由地表过程研究到地表系统科学 452

17.2 地表系统科学框架初论 457

参考文献 472

附录：全书缩略词 475

第 1 章 绪 论

人类对地球系统最直接感知和认知的对象就是地表系统。地表系统的严格学科名词为地球表层系统，由陆地表层系统和海洋表层系统组成，但狭义上，地表系统多指陆地表层系统，这也是本书主要涉及的范畴。

地表系统是一个复杂的巨系统，其研究涉及自然、人文、经济社会诸方面各种要素、过程及其相互作用，因此，地表系统研究是一个较为复杂的学科体系，是多种学科共同针对地表系统的诸方面研究的集合体，展现的是综合、交叉、集成的研究特色。本章在理解和分析地表系统与过程相关概念的基础上，系统地综述国内外与地表系统相关的各要素地表过程的研究现状与发展趋势，力图从众多的研究进展中凝练出地表过程研究的科学本质，从“地表系统科学”的角度认识地表过程系统与研究的科学范畴。

1.1 地表过程研究概述

在讨论地表过程之前，有必要厘清与之相关的一些基本概念，如地球系统与地球系统科学、地球表层系统与地表系统科学、地表过程的科学内涵等。

1.1.1 地球系统与地球系统科学

地球系统的概念脱胎于气候系统研究。人类在利用和改造自然的过程中，也不断地加深对自然界及其变化规律的认识。对自身所居住的地球环境的认识也从局部到整体地不断深化。20 世纪 70 年代提出的气候系统概念，包含大气圈、水圈、岩石圈、冰雪圈和生物圈五大圈层，圈层之间形成了既相互作用又紧密关联的整体，由此发展成为地球系统（叶笃正等，2009）。太阳系等天体对地球系统具有明显的能量、物质、动量和信息的交换作用，它们形成了地球系统的自然驱动力（周秀骥，2004）。地球系统概念与传统地学概念的最大区别是把地球作为一个由相互作用着的各个要素或子系统组成的统一系统，即地球系统来研究（图 1.1）。对地球系统复杂问题的整体解决途径需要从多圈层“联系”和“演化”两个层面寻求答案，地球系统联系是探讨固体地球、水圈、大气圈、冰冻圈和生物圈之间的关系，地球系统演化是研究从太阳系诞生亿年来控制行星性状的过程（毕思文，2004a）。

1988 年美国国家航空航天局（NASA）出版了第一部《地球系统科学》（*Earth System Sciences*）专著，明确指出，地球系统科学将地球视作一个具有相互关联现象的协同物理系统，由涉及岩石圈、大气圈、水圈和生物圈的复杂过程所控制。地球系统科学是“通过对地球系统的各组成部分及其相互作用的演化、运行机制以及它们在所有时间尺度上将怎样继续演化的描述，获得全球范围内整个地球系统的科学认识”（美国国家航空和宇航管理局地球系统科学委员会，1992）。因此，地球系统科学是研究地球系统整体的结构、特征、功能和行为的科学，是全球变化的基础理论（周秀骥，2004）。同时，鉴于工业革命以来人类活动

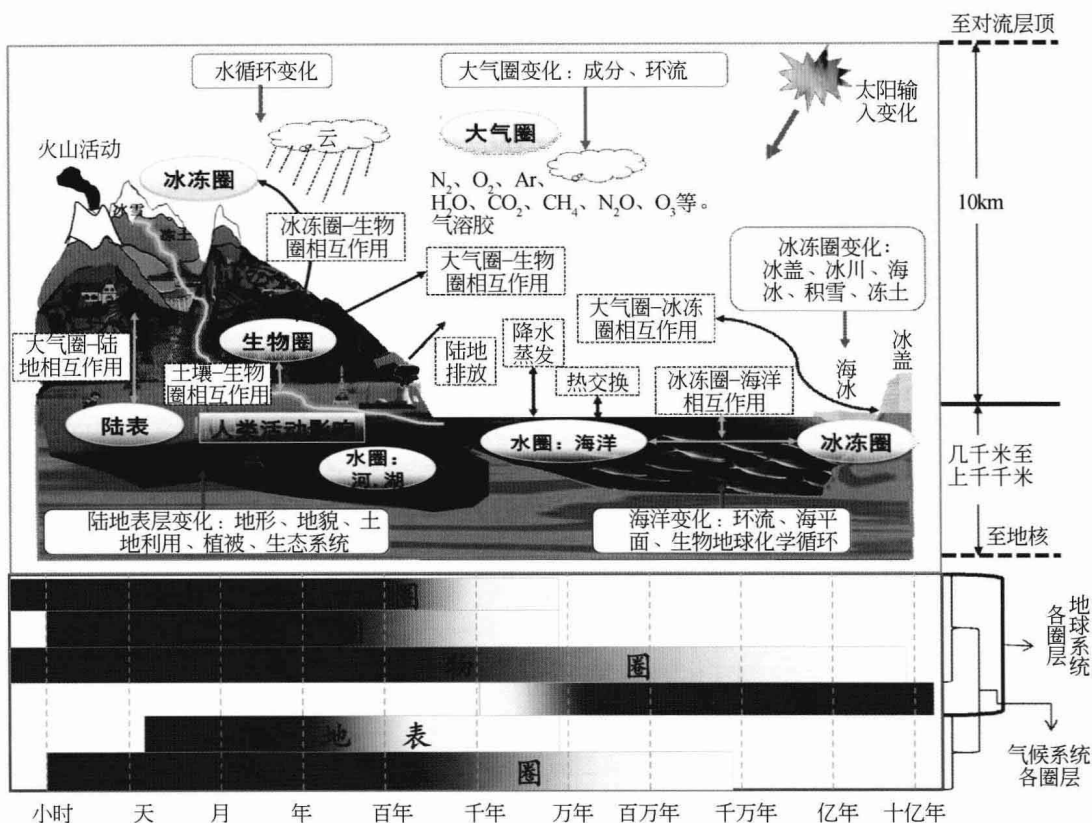


图 1.1 地球系统组成概要图

影响地球环境的空前性，地球环境演化的历史进入了一个全新的时期，并提出了人类世（Anthropocene）的概念（Crutzen and Stoermer, 2000）。人类活动作为一个整体，在影响自然的同时也在不断地应对自然的变化，采取各种适应措施，减少风险和损失，而其后果则是以新的方式影响自然环境。在动力学上表现为与地球环境系统其他组成部分的相互作用，因此，地球系统科学又是可持续发展战略科学基础（黄秉维，1996a；叶笃正等，2009）。

地球系统科学是通过对地球系统各个组成部分及其相互作用的深层次综合研究，认识地球系统的行为机制（刘东生，2006）。地球系统科学发展的目标是在地球系统这一动力框架下，描述和认识控制地球系统的关键物理、化学和生物过程及相互作用的动力机制；认识地球系统不同时空尺度相互关联的内、外在运转规律与关键驱动及主要控制因素；阐明自然和人为驱动力与地球系统变化相互作用的规律和机制；揭露地球系统整体演变的规律和机制；建立地球系统变化趋势的预测理论和方法，以及地球系统变化的调控理论和方法。实现这个目标对指导人类社会可持续发展具有重大科学意义和应用价值（周秀骥，2004）。因此，地球系统科学研究将力图从根本上回答地球是怎样运行的、怎样演化的、它的未来又将是如何变化的、人类如何和谐且永久地与地球相处等重大科学问题。

地球系统科学研究的主要时间尺度可以用几百万年至几十亿年、几千年至几十万年、几十年至几百年、几天至几个季度、几秒至几个小时五个不同的时段来定义。前两个具有较长的时间尺度，它们包括属于传统地球科学——地质学、地球物理学和地球化学等领域的那些现象，而在大气科学、生物学和海洋学的研究中，则侧重于后两个时段，中间时段包含几十

年至几百年时间尺度的全球变化中直接出现的那些过程和效应。生物过程在所有时间尺度内发生,但是发生在中间时段的过程对于人类社会的利害关系和规划尤为重要(毕思文,2004a)(图 1.1)。

目前对地球系统科学研究的空间尺度界定还存在不同认识。在纵向上,从广义的角度,有人认为地球系统科学旨在研究包括自地核到地球外层空间十分广阔的范围内地球系统各组成部分与各圈层之间复杂的相互作用过程。因此,从地核、地幔对流、岩石圈运动、大气圈、水圈和生物圈到行星太空,都是地球系统的空间范畴(毕思文,2004a)。从狭义的角度,地球系统科学研究的范围从对流层顶到地下 10km 范围(马宗晋等,2006)。在横向上,地球科学研究的尺度包括全球、半球、区域和地方几个不同空间尺度。

总之,建立地球系统科学方法的基本途径是要强调相应的化学、物理、生物及其相互作用的动力学过程,这些过程在空间上可以从微米到行星轨道尺度、从地球内部到地表,在时间尺度上可以从毫秒到数十亿年(美国国家航空和宇航管理局地球系统科学委员会,1992)。

1.1.2 地表系统与地表系统科学

地球表层系统(简称地表系统)是指地球表层自然与人类要素的总和,是地球系统的有机组成部分,为地球系统中人类感知最直接,也是最核心的部分。地表系统由陆地表层系统和海洋表层系统构成。但在狭义上,一般将陆地表层系统称为地表系统,研究地表系统的学科称为地表系统科学。本书将采用狭义的地表系统的概念和定义。我国目前相关的叫法还有“陆地表层”、“陆表系统”等,在本书中统一为地表系统。“陆地系统由固体、液体、气体组成,生物界也最复杂,受到人类活动的影响最深,陆地虽小,却是绝大多数人类生息繁衍场所;与人类生存和发展关系最为密切。但陆地(系统)的研究处于落后的地位,仅具雏形,应及早发轫,及早赶上”(黄秉维,1996b)。人类的基本生存活动主要立足于地表,与地表系统中的水、土、气、生等诸要素有形无形地、有意无意地、无时无刻地发生着各种各样的联系,人类生存发展与地球表层息息相关、密切关联,使得人们对地表系统的认识与人类的演变、发展相伴而生。

“地球表层”一词首先由前苏联学者提出,指的是地球环境中与人关系最密切的部分,即上至同温层底部,下至岩石圈最上部,而地球表层以上和以下的部分可以看做地球表层的存在环境。早在 1983 年,钱学森便倡议建立“地球表层学”,认为地球表层研究是“跨地理学、气象学、地质学、工农业生产技术、技术经济和国土经济的新学科”。钱学森曾指出,“地球表层”是一个非常复杂的巨系统,这个巨系统是开放的,它与环境之间有着物质和能量的交换(钱学森,1994)。真正提出将地表系统作为一门科学进行研究的应该是黄秉维先生(黄秉维,1996a;1996b;黄秉维等,1996;葛全胜等,1999)。1994 年,黄秉维先生倡导研究“陆地表层系统科学”。陆地表层系统科学脱颖于钱学森提出的“地球表层学”,它综合自然、社会、经济、生态学、信息科学、系统科学等多个学科,将地球的岩石圈、土壤圈、大气圈、水圈、生物圈视做一个相互作用的大系统,研究其中的物理、化学和生物过程,借以了解过去与现在,预见将来。研究范围包括非生物、生物和人,而人与自然的相互作用以及所应采取的对策是全部工作的重心(黄秉维,1996a)。同时,黄秉维先生指出,“钱学森所倡导的地球表层学与地球系统科学目的基本相同,方向上大体相似而略有出入”,

“地球表层学与地球系统科学形影相随，在实质上并无明显差别。我相信，经过一定时间后，二者必殊途同归”（黄秉维，1996b）。

陆地系统科学可分为不同层次、尺度和类型，涵盖自然、经济和人文，包括空间过程、机制以及进一步的调控研究。对这种复杂系统进行研究，首先要有综合的观点，其次要深入地域等级系统，还要有哲学和方法论层次上的理解和总结，以使地理学在理论和操作性都得到加强，并在持续发展的过程中充分体现出地理学的地位和作用（黄秉维等，1996）。

地球表层的岩石圈、土壤圈、大气圈、水圈和生物圈共同构成地表系统，有的学者考虑到人类的特殊地位和作用，提出从生物圈中分出人类圈（或称智慧圈）作为地球表层系统中的第五个圈层（陈之荣，1997；Crutzen and Stoermer，2000）。人类通过智慧掌握客观世界最基本的原理，从而更好地顺应自然、利用自然，达到人与自然和谐共处与发展。因此，地表系统研究的一个重要特点是自然科学和社会科学的结合（钱学森，1994；黄秉维，1996b；刘本培和蔡运龙，2000；杨巍然，2006）。

在现代科学意义上，地表系统研究始于地理学。地理学是研究地球表层诸要素过程与联系及与人类关系的科学，因此，在某种意义上，可以认为地表系统研究是传统地理学研究内容的拓展与学科延伸。如上所述，地表系统研究强调自然过程与人文过程的有机结合，而自然过程与人文过程恰恰是地理过程的具体表现。随着人类经济社会以及科学本身的发展，传统地理学的视角对地表系统的研究已经不能满足系统解决全球变化、区域可持续发展等重大问题的需求，迫切需要从过去单一要素向多要素与系统综合，从格局向过程方向拓展。运用动态观察、区域研究、空间关系表达和监测分析技术的独特视角，运用综合的观点和学科交叉的方式，从不同尺度探究陆地表层系统变化的关键环节，探讨地貌、水文、土壤、生物、气候、人文多种因素及过程的相互作用机制以及模型的综合表达、模拟与预测（冷疏影和宋长青，2005）。地理学对水、土、气、生、人等地表诸要素相互关联、相依互馈的研究，需要从系统、综合集成与定量化模拟预测等层面上进一步深化，将传统意义上的地理学拓展到与人类生存密切相关的整个地表系统。

概括来讲，地表系统科学主要是通过观测、探测、信息技术等现代化手段，理解并模拟不同时空尺度下的固体地球系统、流体地球系统和生物地球系统以及各系统之间相互作用的过程与机制。研究的聚焦点是地球表面，核心问题是各种地质作用及地质过程与人类生存及社会发展之间的关系。地表系统科学的研究任务可以概括为：研究由岩石圈、土壤圈、大气圈、水圈和生物圈等组成的地球表层系统各部分的相互耦合和变化，揭示人类活动与资源、环境、生态系统间相互作用机制（王焰新等，2003），为预测地球表层系统演变方向和趋势，服务人类社会可持续发展提供科学依据。

1.1.3 地表过程研究

1. 地表过程概述

地表过程是地表系统随时间、空间变化而产生的整体状态和组分序列结构的变化过程。依据研究对象的要素特征，地表过程可分为自然过程和人文过程；按其内在形成与演化机制，地表过程分为物理过程、化学过程、生物过程和人文过程等（冷疏影和宋长青，2005）。

针对地表过程的内涵，许多学者从自己专业的角度提出了不同的概念。Allen（1997）

认为作用在地球表面的过程可以分为来自地球外部因素和地球内部因素造成的过程。外部过程包括在地表上河流、风和冰川的运动,以及海洋中的潮汐、洋流和波浪;内部过程是由于板块构造和地幔迁移造成地球表面的水平和垂直运动,主要包括火山活动和地震等。黄湘通等(2005)认为,地表过程包括地貌格局形成和演化、水系发育、物质“从源到汇”的过程(包括风化、剥蚀、搬运和最终沉积等),以及这些过程和气候变迁与人类活动的关系。Bridge 和 Demicco (2008)认为地表过程包括由侵蚀、风化和生物化学作用,在重力、流水、大气和冰川的影响下沉积物的侵蚀、运输和析出,以及地震和火山喷出物的运动等。这些地表过程的论述是对地表形态变化过程的认识,分别是传统地貌学、沉积学、地理学和部分地球化学研究的范畴。

20 世纪地球科学研究的最为重大进展之一是认识到地球是一个极其复杂的巨系统。新地球观认为:地球表层的现有状态是生命直接或间接参与地质历史的结果;地球表层是一个以生物为中心的,靠生命过程来调节、控制和保持的远离天体物理学平衡的、复杂的开放系统;人类社会或人类文化系统已经成为地球表层系统内的一个特殊的组成部分,人类活动成为影响和控制地球表层系统能量、物质循环的演变方向的重要因素(张昀,1998;杨峰,2007)。

现代地球系统科学研究将地表过程研究带入了一个新的时代。工业革命以来,人类社会进入迅速发展的新时期,全球变化和人类活动对地球表层过程与格局产生了极其深刻的影响。随着人类文明的发展,地球表层系统中人类活动的影响日益加强并直接威胁到系统的可持续性。在这种背景下,陆地表层系统的水、土、气、生、人各要素的物理过程、化学过程、生物过程、社会过程及其综合体时空变化规律,也越来越成为地球系统科学研究中最为关注的基础问题。所以,许多国际组织和重大国际性科学研究计划均以陆地表层为主要的关注对象,强调将自然过程与人文过程有机地结合在一起,应对环境变化对科学提出的挑战。

传统的地表过程研究多以某一关键地表要素为主体,研究其与其他要素之间的关系,现代地表过程研究更强调采用系统科学的方法和思路,对土壤、水文、生物和地貌过程及其耦合作用进行综合系统研究,注重自然过程和人文过程的有机结合。因此,地表过程研究是从系统的视角出发,强调自然过程与人文过程的耦合、多要素之间相互作用机制等,开展单要素地表过程、多要素地表过程及其地表系统过程的研究,并广泛应用于区域发展与环境变化中各种问题的求解。

随着全球范围内环境问题的日益严重以及全球变化的日益加剧,从系统概念出发,以地表系统科学的视角认识地表过程正得到广泛认同,如以土壤圈为核心的生物地球化学循环过程,以冰冻圈为核心的水文、生态、气候和环境过程,以流域为单元的生态-水文过程等。这些以单要素为核心、以其他关联要素为环境影响要素的综合研究为地表过程系统研究的前导与基础,毫无疑问应该纳入地表系统研究之中。冷疏影和宋长青(2005)总结了多位科学家的论述后指出,传统的陆地表层系统地理过程研究更多地集中在自然营力所造成的自然地理过程方面,地貌过程和水文过程是其研究的核心内容,围绕各种营力作用下形成的地貌形态和地形单元以及流域水循环的过程与机理开展研究,重点集中在陆地表面各种形式、各种形态的水体在形成和改造陆地表面中的作用。从国际地球科学发展的趋势看,地表过程研究已经成为非常重要的一个研究领域,同时地表过程的研究也越来越强调土壤、生物、水文、地貌过程的综合,以及自然过程和人文过程的有机结合。当今的地表系统地理过程研究,在