

环境地学原理

Principle of Environmental Geoscience

李天杰 宁大同

薛纪渝 许嘉琳 杨居荣 编著



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

环境地学原理/李天杰等编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 3

ISBN 7-5025-5229-4

I. 环… II. 李… III. 环境地学-研究 IV. X14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 011339 号

环境地学原理

Principle of Environmental Geoscience

李天杰 宁大同

薛纪渝 许嘉琳 杨居荣 编著

责任编辑: 侯玉周

文字编辑: 陈 蕾

责任校对: 郑 捷

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京管庄永胜印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 720 毫米×1000 毫米 1/16 印张 31 $\frac{3}{4}$ 字数 564 千字

2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5229-4/X·385

定 价: 56.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

环境问题几乎是人类与生俱来的永恒主题。在人类赖以生存的这个地球舞台上，随着文明的进步，生产与生活方式的转变，人们对环境问题的认识也在与时俱进。工业经济时代侧重于城市工业的污染治理；在后工业社会，人们痛定思痛，经过深刻的反思后提出保护生态、回归大自然的口号；而在全球经济和知识经济的浪潮中，人们形成了关于全球化与可持续发展的共识，也是顺理成章的事。

环境地学是一门崭新的科学，它是环境科学的重要组成部分。环境地学以地球表层系统为主要研究对象，以全球性及区域性环境变化为主要研究领域。自斯德哥尔摩协议、里约热内卢宣言和京都议定书等先后问世以来，环境地学更加成为举世瞩目的热点。在卫星对地观测和因特网络通讯高度发达的新世纪以及高新技术系统的支持下，环境地学受到了学术界更广泛的关注。

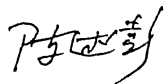
北京师范大学环境学院李天杰、宁大同、薛纪渝、许嘉琳、杨居荣五位教授在地质学领域造诣很深，在环境科学领域建树颇多。他们结合长期从事教学、科研的丰富实践与经验，集体编著了这部《环境地学原理》。其中运用系统论的观点，注重学科之间的交叉、融合，从人-地复合系统的整体视角出发建立了环境地学的理论体系。详细论述了大气、水、冰冻、岩石、土壤、生物和智慧七个圈层的特殊地位和相互作用，强调各圈层的形成、演化以及物质、能量的迁移、转化过程和作用。并从环境科学、全球变化研究、生物地球化学、景观生态学与生态地理学等诸多新兴学科的高起点为环境地学提供了全新的理念，大大开拓了环境科学的视野，也展示了作者深厚的学术功底以及这部专著的鲜明特色和创新亮点。

特别值得推荐的是，作者着重讨论了人-地复合系统各圈层间的互动与耦合，并将智慧圈列为地表环境系统中的七个圈层之一，详细论述了不同社会阶段中智慧圈的特征以及与人类文明、“数字地球”、可持续发展理念的内在联系。“智慧圈”又称“人类圈”，上至电离层，下至莫霍面。它是地球上人类活动最密集的空间。在航天时代和信息社会的新世纪，具有独特的理论

与实践意义。

总之,《环境地学原理》是一部起点高、理念新的力作;是一部视野宽阔、内容丰富的学术专著;也是一部深入浅出、雅俗共赏的教学参考书。它为读者深入理解环境地学的基本原理和环境问题全球化与信息化的大趋势,将发挥重要的导向作用。《环境地学原理》是一部值得精读的好书。

中国科学院院士



2002年11月30日

前 言

环境地学是 20 世纪后期逐渐发展起来的，是环境科学的一门支柱性、基础性分支学科。它横跨环境科学与地球科学，属于两者之间的交叉性综合学科。

环境地学的研究重点是地球表层环境系统，其核心是全球环境变化，尤其是全球气候变化以及人类活动对地球表层环境系统和全球环境变化的影响。它把全球与区域、宏观与微观、地球环境与生命过程等紧密结合在一起，构成了由日-地空间系统、地球表层系统和地球深部圈层系统的统一、多层次、开放的复杂巨系统，显示出其突出的大科学特征。地球表层环境系统的所有变化，都必须从该复合巨系统不同层次或同层次不同子系统之间的互动与耦合、相干与协同、驱动与反馈等方面进行研究，才能全面解读和揭示地球表层环境系统及其发展、变化的原因和机制。

人类-地球复合系统的整体行为涉及到地球各个无机圈层以及有机圈层的相互作用。由于有智慧圈中人文活动的参与，所以该系统的整体行为也与人类和环境的协同演化紧密相关。同时，各子系统之间还保持着多重耦合和互动的关系，它们的组成、结构、状态、物理和化学特性、功能等虽然各异，但都通过物质循环、能量转化和信息传递紧密地耦合在一起，互相影响，互相制约。

环境地学所最关心的问题之一是人-地复合系统中环境质量的演变规律及由环境质量变化而产生的环境污染、生态破坏等种种人类生态环境问题。而环境质量演变无不受制于人文过程以及生态环境与地球系统变化，即全球性或区域性环境系统的组成、结构（空间组合与空间构型）、分布特点，系统之间或系统内部物质、能量和信息的迁移、转化和交换等演化过程以及人类的社会行为。继而，变化了的环境质量再反馈（正反馈或负反馈）到人-地复合系统的各相关部分，对人类的生存和发展构成现实或潜在的威胁。

当前，全球变化中最主要的驱动因子是人文活动。人类对环境的干预在强度、广度和速度上业已接近或超过了自然变化，从而对人类自身的生存与发展产生了深远的影响。为了使人-地复合系统能稳定、有序地耦合在一起，

必须综合集成环境地学的基本理论、方法，以环境伦理作为可持续发展战略的支撑，根据各区域系统的特征，加强人类社会行为的整合，使地球系统、尤其是地球表层系统的自然有序与人口-资源-环境-安全子系统的人为导向和谐一致。

本书从整体视角出发，突出太阳和地球、地球表层和内部、人类和地球三者的相关性、整体性和复杂性，力图为构建环境地学的理论框架和时空体系做出新的尝试。全书共分九章，分别论述了大气、水、冰冻、岩石、土壤、生物和智慧七个圈层中众所关心的重大问题。例如，各圈层在复合系统中的地位、功能及演化；物质、能量的迁移和转化过程；各子系统的相互作用和响应及其在全球变化中的作用等。最后，着重讨论了人-地复合系统中各圈层间的互动与耦合。为了抛砖引玉，谨就复合系统的整体性及各圈层变化的相关性、复合系统的复杂性与非线性、各圈层间的相互影响与响应、全球变化和生命过程的维系与调控、地球环境与生命的协同演化、环境伦理及生态思维范式六个环境地学的基本理论问题阐述了作者的粗浅认识。同时，还对地球表层系统中人类活动的影响与整合做了集中讨论。

《环境地学原理》是作者在长期从事环境科学研究与教学工作的基础上，汲取了地球系统科学、环境科学、复杂性科学等领域的最新研究进展和成果，对环境地学理论与实践的概括与总结。本书的出版，旨在为推动环境地学的发展奉献自己一份绵薄的力量。同时，愿以此缅怀我国环境地学的先驱之一、北京师范大学环境科学研究所的创始人——刘培桐教授。事实上，书中的一些观点也是由他提出且大力倡导的。

全书各章、节撰写的分工如下。

第一、四、六章：李天杰。

第二章：宁大同。

第三章：薛纪渝。

第五章：许嘉琳。

第七章：杨居荣。

第八章：李天杰，其中第四节由宁大同执笔。

第九章：宁大同，其中第一节一、五以及第二节三由李天杰执笔。

全书的统稿工作由李天杰、宁大同完成。

《环境地学原理》在从组织、撰写到出版的全过程中，得到了北京师范大学研究生院、环境学院的关心和大力支持。中国科学院陈述彭院士、郑度院士曾对本书给予了热情的鼓励，并承蒙陈述彭院士写了序言。在撰写过程中，北京师范大学环境学院院长杨志峰教授，教育部原政策调查研究中心副主任、联合国开发计划署中国项目总顾问李之保教授，高等教育出版社原环

境室主任张月娥编审曾提出过许多宝贵、中肯的建议。此外，国土资源部土地利用司司长胡存智兼职教授、北京师范大学资源与环境科学系赵焯教授也给予了支持和帮助；化学工业出版社为本书的出版倾注了满腔热情，并为最后定稿提出了宝贵意见。在此，我们对上述专家、教授以及关心和帮助我们的其他同志一并致以由衷的感谢。

在撰写过程中，笔者虽勉力而为，但限于自身水平以及前沿学科的特点，不足及疵误之处仍在所难免，敬希各界读者、同仁不吝赐教。

李天杰 宁大同

2003. 11

Contents

Chapter 1 Introduction

1. The environment, environmental system and environmental problems
2. Environmental sciences and environmental geosciences

Chapter 2 Synergetic Evolution of Human-Environment in the Atmosphere

1. Evolution of the atmosphere and its effect on life and climate
2. Composition and structure of the atmosphere
3. Energy cycle and material movement in the atmosphere
4. Impacts of human activities on the atmosphere and its environmental effects
5. Regional atmospheric environment and air resource protection

Chapter 3 Hydrosphere in the Human-Earth Complex System

1. Hydrosphere of the earth
2. Continental aquatic environment
3. Oceanic environment

Chapter 4 Cryosphere—Sensitive Indicator Responding to Global Changes

1. Composition, characteristics and spatial structure of the cryosphere
2. Cryosphere in evolution history of the earth
3. Functions of cryosphere in earth surface environmental system
4. Evolution of the cryosphere and its monitoring

Chapter 5 Lithosphere—Material Support for Physical Environmental Evolution and Social Environmental Development

1. Structure, characteristics and functions of lithosphere in human-earth complex system
2. Evolution of lithosphere in the earth system
3. Elemental abundance and combination of rock types with implication to resources and health for human
4. Endogenetic actions and their environmental effects
5. Exogenetic actions and their environmental effects
6. Impact of human activities on the changes of lithosphere

7. Sustainable way for exploitation and utilization of lithosphere surface

Chapter 6 Pedosphere of the Solid Earth Surface

1. Formation and evolution of the pedosphere
2. Spatial and temporal evolution of the pedosphere
3. Spatial structure of pedosphere
4. Characteristics and functions of pedosphere and responses to global changes

Chapter 7 Biosphere—Life Sustaining System on the Earth

1. Biosphere—the most complicated self-organized system at the earth surface
2. Structure of the biosphere
3. Flow and transformation of energy in the biosphere
4. Biogeochemical cycle supporting and maintaining the biosphere
5. Internal homeostasis of the biosphere
6. Global changes and interrelations among ecosystems
7. Sustainable biosphere program

Chapter 8 Noosphere in Human-Earth Complex System

1. Characteristics, composition, structure and functions of noosphere
2. Formation and development stages of the noosphere
3. Noosphere and evolution of human-earth relations
4. The great change of human developmental model
5. Digital earth and observation toward the earth

Chapter 9 Interacting and Coupling among Spheres in the Complex System

1. Theoretical frame of environmental geoscience
2. Impacts of human activity on epigeosphere and their integrity

目 录

第一章 绪论	1
第一节 环境、环境系统、环境问题	1
一、发展中的环境概念	1
二、人类-地球环境复合系统解析	4
三、人类-地球环境复合系统的基本功能与特性	10
四、人类-地球环境复合系统中的环境问题	15
第二节 环境科学与环境地学	18
一、环境科学	18
二、环境地学	20
三、环境科学与环境地学发展简史	24
第二章 大气圈中的人-地协同演进	29
第一节 大气圈的演化及其对地球生命与气候形成的作用	30
一、大气圈的形成与演化	30
二、大气演化对地球生命与气候形成的作用	32
第二节 地球大气的组成和结构	33
一、地球大气的组成及其对生态环境的影响	33
二、大气圈的垂直结构	35
第三节 大气圈的能量与物质运动	38
一、大气圈的能量循环	38
二、大气圈的水分循环过程	43
三、大气环流的平均状况	45
四、大气组分的区域及全球平衡	47
五、气候系统与能量及水分循环	54
第四节 人类活动对大气圈的影响及其环境效应	57
一、温室效应与全球变暖	57
二、臭氧层耗竭的机理及其对人类生态环境的影响	75
三、酸雨的形成与危害	84

四、光化学烟雾及其形成机制	88
五、大规模人类活动对气候的干扰	90
六、全球气候变化研究的国际合作计划	97
第五节 区域大气环境与空气资源保护	99
一、大气环境质量评价及空气污染控制	99
二、城市化对局地气候及大气环境的影响	112
三、空气资源质量评估	113
四、空气资源的价值及保护	116
第三章 人类-地球复合系统中的水圈	120
第一节 地球的水圈	120
一、地球的水圈	121
二、全球水循环与水量平衡	124
三、地球的水资源	129
第二节 陆地水环境	147
一、天然水的化学性质	148
二、水环境的污染	148
三、水环境自净	151
四、水体的耗氧与复氧过程	153
五、水体污染水质模型	155
六、水环境容量	161
七、水环境质量评价	162
第三节 海洋环境	167
一、海洋-大气相互作用	167
二、海水的二氧化碳平衡系统	175
三、海洋-陆地相互作用	177
四、海洋环境污染	180
第四章 全球变化响应的灵敏指示器——冰冻圈	184
第一节 冰冻圈的组成、特征和空间结构	185
一、大陆极地和高山冰川、冰帽与冰盖	187
二、积雪或雪盖	188
三、陆地冻土	189
四、海冰	189
第二节 地球演化历史中的冰冻圈	190
一、元古代、古生代和中生代的冰冻圈	190
二、新生代时的冰冻圈	191

第三节	冰冻圈在地球表层环境系统中的作用	194
一、	冰冻圈对气候的影响	194
二、	冰冻圈对全球和区域变化的响应	198
第四节	冰冻圈的演变与动态监测	201
一、	冰冻圈的遥感动态监测	201
二、	冰冻圈的演化与全球变化	203
第五章	岩石圈——自然环境演化与社会环境发展的物质支撑	206
第一节	岩石圈的结构、特征及其在人地系统中的作用	206
一、	固体地球的圈层划分与岩石圈结构	206
二、	地球系统中岩石圈的特征	210
三、	岩石圈在人类生存与发展中的作用	211
第二节	地球系统中岩石圈的演化	212
一、	地球系统的圈层分化与岩石圈形成	212
二、	不同地质时期中岩石圈演化过程	213
三、	岩石圈演化的驱动力与主要特征	214
第三节	元素丰度与岩石类型组合及其资源、健康意义	216
一、	地壳与地幔中元素丰度特征	216
二、	主要矿物类型及其组合	219
三、	主要岩石类型及其组合	221
四、	岩石圈化学组分对其他圈层的影响	225
五、	岩石圈物质组成的资源作用与健康效应	226
第四节	地球内营力的作用及其环境效应	229
一、	地球物理过程及其对岩石圈上部的作用	229
二、	地球化学过程及其对岩石组成的作用	233
三、	地质动力过程与地壳运动	234
四、	内营力作用对地表环境系统的影响	242
第五节	地球的外营力作用及其环境效应	245
一、	风化作用与风化壳的类型	245
二、	风化产物的迁移特征	247
三、	沉积作用与沉积类型分布	250
四、	外营力作用对地貌及对资源、环境质量的影响	250
第六节	人为活动对岩石圈动态的影响	254
一、	人为活动对岩石圈表层变化的影响	254
二、	人为活动对岩石圈深层动态的影响	258
第七节	岩石圈表层的可持续开发利用途径	259

一、矿区资源开发与环境保护·····	260
二、土地资源的合理利用与保护·····	262
三、岩石圈上层环境中废弃物的科学处置·····	263
四、地质灾害的防治及其与环境保护的交融·····	264
第六章 固体地球表层的土壤圈·····	275
第一节 土壤圈的形成与演变·····	275
一、土壤圈的概念·····	275
二、成土因素学说及其发展·····	277
三、各地圈要素在土壤和土被形成中的作用·····	278
四、土壤形成过程·····	284
第二节 土壤圈的时空演变·····	289
一、新成土的形成和发展阶段·····	290
二、土壤圈的形成分化阶段·····	290
第三节 土壤圈的空间结构·····	293
一、土壤圈的土壤组成·····	294
二、土壤圈的土壤组合系列·····	294
三、土壤圈的区域划分·····	296
第四节 土壤圈的特性与功能及其对全球变化的响应·····	297
一、土壤特性·····	297
二、土壤圈物质与能量的迁移转化与交换·····	299
三、土壤圈与全球变化的响应和反馈·····	314
四、土壤圈的合理利用与可持续发展·····	321
第七章 地球生命维持系统——生物圈·····	332
第一节 生物圈——地球表层最复杂的自组织系统·····	332
一、物质运动过程中的生命演化·····	333
二、生物圈在人-地复合系统中的地位·····	336
第二节 生物圈的结构·····	338
一、生态系统——生物圈的组成单位·····	338
二、主要自然生态系统类型、特征及其功能·····	340
三、生物圈中生态系统的镶嵌结构·····	348
四、生物圈的多样性结构·····	350
第三节 生物圈的能量流动与转化·····	353
一、生态系统的热力学特性·····	353
二、能流途径及其特点·····	354
三、能量流转的效率·····	355

四、生物圈的第一性生产力及其时空分布·····	356
第四节 支撑和维持生物圈的物质生物地球化学循环·····	357
一、生物圈的物质组成·····	357
二、生物地球化学循环的一般特征·····	358
三、氮、碳的生物地球化学循环·····	359
四、硫、磷的生物地球化学循环·····	365
五、有毒有害物质的循环·····	368
第五节 生物圈的内稳态调节·····	372
一、生物圈的稳定性与整体性·····	372
二、生态系统的反馈调节与稳态·····	374
三、稳定性阈限·····	376
第六节 全球变化与生态系统的相互关联·····	377
一、大气圈物质流平衡的改变及其与生态系统的相互关联·····	377
二、食物生产对生物圈的压力·····	384
三、生物多样性及其人为丧失·····	385
四、生物入侵与全球变化·····	393
五、化学污染物对生物圈的胁迫·····	397
第七节 可持续生物圈计划·····	399
一、“生物圈 2 号”的启示·····	399
二、协同进化，持续发展·····	401
第八章 人类-地球复合系统中的智慧圈·····	404
第一节 智慧圈的特性、组成、结构与功能·····	405
一、智慧圈的基本特征·····	405
二、智慧圈的组成结构与功能·····	406
第二节 智慧圈的形成和发展阶段·····	412
一、原始社会阶段的智慧圈·····	413
二、农业社会阶段的智慧圈·····	413
三、工业社会阶段的智慧圈·····	413
四、后工业化社会阶段的智慧圈·····	414
第三节 智慧圈与人-地关系演进·····	416
一、智慧圈发展对地球表层环境的影响·····	417
二、人-地关系论和智慧圈的发展·····	419
第四节 人类发展模式的历史性变革·····	421
一、几种不同的发展观·····	422
二、可持续发展要义·····	423

三、人类新文明与新观念·····	428
四、中国的必然选择·····	431
五、可持续发展指标体系及评价·····	434
第五节 数字地球与对地观测·····	439
一、数字地球及其理论基础与技术·····	439
二、对地观测技术系统·····	441
三、可持续发展战略对“数字地球”与对地观测的需求·····	446
第九章 复合系统中各圈层的互动与耦合·····	450
第一节 环境地学的理论框架·····	451
一、人-地复合系统的整体性及各圈层变化的相关性·····	451
二、人-地复合系统的复杂性与非线性·····	453
三、各圈层间的相互影响与响应·····	458
四、全球变化和生命过程的维系与调控·····	463
五、地球环境与生命的协同演化·····	465
六、环境伦理及生态思维范式·····	468
第二节 地球表层系统中人类活动的影响与整合·····	471
一、环境变化敏感带和生态脆弱带·····	471
二、下垫面性状改变的环境效应·····	473
三、人类调控生态环境的能动作用·····	477
四、全球化进程中的环境安全·····	478

绪 论

环境是人类生存的基本条件，是社会经济发展的物质基础。人与环境之间相互作用、相互依赖，存在着复杂的相关关系。人类是与环境协同进化的，保护和改善环境就是保护人类自己，人类与大自然和谐共处是人们惟一正确的理性选择。因而，日益严重的环境问题逐渐成为世界各国人民关注的重大问题，也是科学技术诸多领域所面临的重大研究课题。由此，环境科学应运而生，并逐渐发展成为一门最年轻、最具影响力的综合性学科。

环境地学是介入环境科学最早的学科门类，是地学与环境科学之间迅速发展起来的一门交叉性基础学科。其研究对象是包括固体地球系统、地球表层流体系统和生物地球系统的人-地复合系统。该系统具有鲜明的多圈层构造、多重物理-化学-生物学-人文过程耦合在一起的复杂巨系统的特点。因此，环境和环境系统、全球变化以及与人类生存发展息息相关的许多涉及人口-资源-环境-安全领域的重要理论和实践都是环境地学所关心的。

第一节 环境、环境系统、环境问题

一、发展中的环境概念

环境作为环境科学的研究对象，其概念的内涵、性质、范围和层次，及其研究内容、任务和目的，是环境科学研究中最引人关注的核心基本问题之一。

从哲学角度将环境定义为：环境是对中心主体周围的空间事物而言的，

中心主体与周围环境两者是既相互依存、相互制约，又相互作用和相互矛盾的统一整体（刘培桐，1983）。据此，可认为环境科学的研究对象一般指以人类为中心主体的周围生存环境，换言之，以人类为中心主体的外部世界，即人类与周围赖以生存和发展的物质、能量和信息条件及过程耦合和相互作用的整体，包括自然环境和社会环境。如在《中华人民共和国环境保护法》（1979）中，以法律的形式具体阐述了这一基本概念。并明确指出：“本法所指的环境，是指影响人类生存和发展的各种天然和经过人工改造造成的自然因素总体，包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等。”也即把地球表层环境或人类与地表环境构成的复合系统作为环境科学的主要研究对象。这无疑是非常正确的有关环境的基本概念与内涵。

随着环境科学及相关学科的发展以及人们环境意识的增强，环境的概念和内涵也随之不断发展。

（一）环境的时间概念

地球环境从形成至今，已经经历了约 46 亿年漫长的发展和演变过程。距今 30 多亿年前，地球上开始出现生命，至寒武纪（距今 5 亿年前），地球生命出现大爆发。地球历史便由纯无机自然环境演化跨入生物与环境协同演化的进程。人类的出现，不过是 250 万~300 万年前的事情，而人类社会形成的时间则更短，最多只有 8000 年。因此，首先需要增强对环境发展时序的分析与认识。

人类未出现前，环境是相对于生物这一主体而言的。一切生命现象和生物，如果没有环境，就不能生存与进化，环境也不再是脱离了生命和生物孤立地演化，而是与生物协同演进。尽管人类是不同于一般生命与生物的最高级的智慧动物，但人类并未脱离生物范畴，他们仍属地球上生物生态系统的组成部分，并始终是地球上生命和生物总进化过程的阶段性产物，或者说人类是地球上生物演化总进程的最高级阶段。因此，在人类尚未出现的史前时期，将生物作为环境研究的中心主体，更全面地反映了地球生命和生物进化与环境协同发展历史的总进程，揭示了地球环境发展历史过程的实质，说明人类是生物进化进程的延续，同时，现代环境也是过去历史环境的延伸和继续。不仅只从人类本身，而且从全球生命现象和生物总体的角度研究其与环境的关系。如何为地球生物和人类创造更有利的协同发展的环境条件。更好地理解环境和环境科学的内涵及其理论基础，有利于促进环境科学某些新的生长点和分支学科的发展，如环境伦理学新分支学科的诞生和发展。

（二）环境的空间概念

进入 21 世纪，人类文明飞速进步的突出表征是空间科学和信息技术。