

工业生态学基础

# 工业生态学基础

THE FOUNDATIONS OF  
INDUSTRIAL ECOLOGY

陆钟武 著

陆钟武 著

X171

贵州省图书馆

版  
社

版



科学出版社

[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

工业生态学基础  
The Foundations of  
Industrial Ecology

陆钟武 著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书共分 17 章,分属 6 篇。第一篇(第 1~3 章)为绪论;第二篇(第 4~6 章)介绍经济增长与环境负荷;第三篇(第 7~9 章)为资源环境综合分析;第四篇(第 10~12 章)介绍生态设计和环境评价;第五篇(第 13~16 章)介绍循环经济和物质循环;第六篇(第 17 章)介绍企业的绿色化。

本书可作为我国理工科院校本科生、研究生的工业生态学教材,对于我国经济管理、资源环境和工业生产领域的从业人员和高等学校、科研院所的科技工作者也有重要的参考价值。

### 图书在版编目(CIP)数据

工业生态学基础=The Foundations of Industrial Ecology/陆钟武著. —北京:科学出版社, 2009

ISBN 978-7-03-025938-7

I. 工… II. 陆… III. 工业-环境生态学-高等学校-教材 IV. X171

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 199461 号

责任编辑:王志欣 闫井夫 / 责任校对:鲁 素

责任印制:赵 博 / 封面设计:嘉华永盛

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>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2010 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2010 年 1 月第一次印刷 印张: 17 1/2

印数: 1—3000 字数: 330 000

定价: 28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新蕾〉)

## 前 言

我们以无比兴奋的心情，编写这本教材，作为向伟大祖国 60 周年华诞的献礼。

工业生态学是一门新兴的、为可持续发展服务的学科。它的基本学术思想是：人类社会经济系统不是独立存在的，它是自然生态系统中的一个子系统。这样的学术思想是新颖的，非常值得称道。它能帮助人们从传统学科的狭隘视野中解脱出来，看到全局，学会综合思考问题的方法。特别重要的是：发展经济要全面考虑，不能顾此失彼，不能竭泽而渔，不能任意排放；否则虽可繁荣一时，却不能持续到永远。工业生态学的新思想、新内容，能使许多人耳目一新，茅塞顿开。

我们衷心希望大家都来学习这门学科。具体地说，一是希望大专院校的学生（本科生、硕士生、博士生），尤其是理工科学生，都能学一门工业生态学方面的课程。学时可长可短，关键是把它的基本思想和基本内容学到手，将来能更自觉、更好地为可持续发展服务。近几年来，有些院校、专业已经开设了这方面的课程，这的确是良好的开端。我们希望今后能逐渐铺开，有更多院校、专业把这门课程列入它们的教学计划。二是希望各行各业的从业人员都能补学这门课程，这是因为可持续发展的目标能否实现，人人有责，各行各业概莫能外。三是希望各级决策者都能知晓这门课程的中心思想和主要内容，这对他们作出正确的决策，肯定会有帮助。当然，学习方式要灵活，自学、研讨、培训等方式均可。

上面所说的这些希望是鼓励我们编写本教材的全部动力源泉，只要本教材能对大家学习工业生态学有所帮助，我们就会感到非常满足！

多年来，我们在学习国内外文献的同时，开展了较为广泛的研究工作。在研究工作中，我们始终坚持与中国实际相结合。中国的重要特点之一是经济持续高速增长，因此，与此有关的若干主要问题就成了我们研究工作关注的焦点。在研究工作的基础上，我们发表了不少论文。

本教材是我们这些年来的学习心得和研究工作的总结。我们的研究成果，在教材中占有较大比重，有好几章是根据我们发表的论文改写而成的。

把我们自己的研究成果纳入教材，一方面可以使其内容更加丰富多彩，提高教学质量；另一方面可以更好地与中国实际相结合。本教材在这些方面的主要进展有以下几点：

### 1) 从定性分析到定量分析

对于宏观层面上的某些重大问题，以前一直停留在定性分析上，无法满足实际工作者的需要。科技工作者的任务是针对这类问题提出全面的定量分析法，从而把问题分析得更加透彻。

根据我们的研究成果，本教材中引入了若干这类问题的定量分析法，例如：

- (1) 经济增长与环境负荷之间的关系；
- (2) 物质循环率与资源效率、环境效率之间的关系；
- (3) 园区资源化率的分析；
- (4) 生产流程中物流对能耗、物耗的影响等。

这些定量分析法的实用价值和具体用途，在教材中均进行了必要的说明。

### 2) 从静态模型到动态模型

现在通用的物流（及物质流）分析法是静态的。这种方法可以在经济不增长或缓慢增长的国度里使用，但在我国经济持续高速增长的情况下并不很适用。本教材是按动态模型进行物流（及物质流）分析的，并以我国实际情况为背景，讲述了这种方法的应用实例。

### 3) 拓宽学科领域，新增若干章节

工业生态学这个学科还处在发育成长期，它的总体框架尚未完全定型。它的“边界”何在，大家的看法并不一致。因此，在本教材章节的设置问题上，有一定的自由度。本教材有几章是我们新增的（与其他教材相比），其中包括：

- 第 5 章 经济增长过程中的资源消耗量和废物排放量；
- 第 6 章 穿越“环境高山”；
- 第 8 章 生态足迹分析；
- 第 9 章 系统动力学分析；
- 第 13 章 循环经济概述；
- 第 16 章 生产流程中物流对能耗、物耗的影响。

我们认为以上各章本应在工业生态学的研究范围内，把它们收入本教材是顺理成章的。

此外，在第 17 章中，专设一节，讨论思维模式，希望引起读者的注意。人的思维模式有两种：一是分析思维（还原论），一是综合思维（整体论）。学习工业生态学，这两种思维都很重要，只会分析而不知道普遍联系是不够的。

### 4) 确保基础，删繁就简

本教材重在基础，除此之外，均属附加，不应繁琐。本教材各章都是按照这个原则编写的，尤其是以下几章写得更为简要：

- 第 9 章 系统动力学分析；
- 第 10 章 生态设计；

第 11 章 生命周期评价；

第 12 章 环境影响评价。

这是因为在这些方面可供读者参阅的文献很多，本教材不必更多重复文献中的内容。

本教材可安排 40~50 学时讲授时间。实际使用时，可根据教学计划安排的学时数，做必要调整。

本教材是陆钟武院士及其领导的学术团队，在认真总结科研成果和教学经验的基础上，编写而成。执笔者有东北大学陆钟武、杜涛、岳强、高成康，北京工业大学戴铁军，以及北京师范大学毛建素等 6 人，分工情况如下：前言由陆钟武执笔；第 1 章由戴铁军执笔；第 2 章由杜涛执笔；第 3 章由杜涛执笔；第 4 章由陆钟武和岳强执笔；第 5 章由陆钟武执笔；第 6 章由陆钟武、毛建素和岳强执笔；第 7 章由岳强和陆钟武执笔；第 8 章由岳强执笔；第 9 章由高成康执笔；第 10 章由杜涛执笔；第 11 章由杜涛执笔；第 12 章由高成康和陆钟武执笔；第 13 章由岳强执笔；第 14 章由岳强和陆钟武执笔；第 15 章由戴铁军执笔；第 16 章由陆钟武和戴铁军执笔；第 17 章由陆钟武执笔。

我们衷心感谢东北大学各级领导，特别是教务处领导对本教材的编写和出版工作给予的关心和支持；感谢科学出版社领导和责任编辑为本教材的出版工作付出的辛勤劳动；感谢装甲兵工程学院徐滨士院士、刘世参教授、史佩京博士，南开大学朱坦教授、田莉莉博士，东北环境保护督查中心文毅主任，辽宁省环境保护厅赵宇等同志为本教材编写工作提供的帮助。

本教材在编写中，我们尽可能地注意了内容的正确性，编排的合理性，以及文句的严密性。虽然如此，由于我们水平有限、知识面不够宽、实际基础不够、参阅文献不够多，本教材难免存在不足之处；尤其是按照我们自己的理解和体会发挥的一些观点、概念、理论和方法等，可能还不完善，坦诚地欢迎广大读者提出批评和意见。

# 目 录

## 前言

## 第一篇 绪 论

<b>第 1 章 自然生态系统和工业系统</b> .....	3
1.1 自然生态系统 .....	3
1.1.1 自然生态系统的组成 .....	3
1.1.2 自然生态系统的进化 .....	4
1.2 工业系统 .....	5
1.2.1 工业系统的组成 .....	5
1.2.2 工业系统的进化 .....	7
主要参考文献 .....	8
复习思考题 .....	8
<b>第 2 章 可持续发展观</b> .....	9
2.1 基本概念 .....	9
2.2 可持续发展观的形成 .....	10
2.3 中国的可持续科学发展观 .....	12
2.3.1 中国可持续发展历程 .....	12
2.3.2 中国的科学发展观 .....	13
2.3.3 科学发展观与可持续发展观的关系 .....	14
主要参考文献 .....	15
复习思考题 .....	16
<b>第 3 章 工业生态学概述</b> .....	17
3.1 工业生态学及其兴起 .....	17
3.1.1 工业生态学基本概念 .....	17
3.1.2 工业生态学研究兴起 .....	18
3.2 基本思想和特点 .....	19
3.3 本书框架和主要内容 .....	21
3.4 工业生态学今后的发展 .....	22

主要参考文献 .....	24
复习思考题 .....	24

## 第二篇 经济增长与环境负荷

<b>第 4 章 环境保护的基本思路和工作内容</b> .....	27
4.1 基本概念 .....	27
4.1.1 稳态社会经济系统 .....	27
4.1.2 非稳态社会经济系统 .....	28
4.2 环境保护的基本思路 .....	29
4.3 环境保护的工作内容 .....	30
主要参考文献 .....	32
复习思考题 .....	33
<b>第 5 章 经济增长过程中的资源消耗量和废物排放量</b> .....	34
5.1 IPAT 方程 .....	34
5.2 IGT 方程——经济增长过程中的环境负荷 .....	35
5.2.1 IGT 方程 .....	35
5.2.2 IGT 方程的另一种形式 .....	37
5.2.3 单位 GDP 环境负荷年下降率的临界值 .....	40
5.2.4 GDP 年增长率与单位 GDP 环境负荷年下降率之间的 合理匹配 .....	42
5.3 $I_eGTX$ 方程——经济增长过程中的废物排放量 .....	42
5.3.1 $I_eGTX$ 方程 .....	43
5.3.2 $I_eGTX$ 方程的另一种形式 .....	44
5.3.3 废物排放率年下降率的临界值 .....	45
主要参考文献 .....	47
复习思考题 .....	48
<b>第 6 章 穿越“环境高山”</b> .....	49
6.1 基本思想 .....	49
6.2 理论分析 .....	50
6.3 实例及其分析 .....	54
6.3.1 国家级实例及分析 .....	54
6.3.2 省级实例及分析 .....	56
6.4 中国环境负荷的预测 .....	57



6.5 环境保护规划编制中的几个问题 .....	59
主要参考文献 .....	61
复习思考题 .....	62
<b>第三篇 资源环境综合分析</b>	
<b>第7章 总物流分析</b> .....	65
7.1 总物流模型 .....	65
7.2 关于隐藏流 .....	67
7.3 关于再生资源 .....	69
7.4 主要指标 .....	70
7.5 国家级案例 .....	74
7.5.1 日本 2000 年的总物流分析 .....	74
7.5.2 日本 2005 年的总物流分析 .....	75
7.5.3 基于总物流分析的日本循环型社会发展目标 .....	75
7.5.4 我国 2000 年的总物流分析 .....	78
7.5.5 我国 2005 年的总物流分析 .....	79
7.5.6 中、日两国的指标对比 .....	80
主要参考文献 .....	81
复习思考题 .....	82
<b>第8章 生态足迹分析</b> .....	83
8.1 基本概念 .....	83
8.1.1 生态足迹 .....	83
8.1.2 生态功能用地 .....	83
8.1.3 生态承载力 .....	84
8.1.4 生态足迹分析法及其应用 .....	84
8.2 生态足迹和生态承载力的计算 .....	85
8.2.1 综合算法 .....	85
8.2.2 成分算法 .....	87
8.3 全球及我国的生态足迹 .....	89
8.4 实例——辽宁省 2002 年的生态足迹 .....	92
主要参考文献 .....	92
复习思考题 .....	93
附录 .....	94

<b>第 9 章 系统动力学分析</b> .....	101
9.1 系统动力学概述 .....	101
9.1.1 系统动力学的特点 .....	101
9.1.2 系统动力学在决策中的应用 .....	102
9.2 系统动力学中的因果关系和反馈回路 .....	103
9.2.1 因果关系 .....	103
9.2.2 反馈回路 .....	104
9.3 系统动力学的计算例题 .....	106
9.4 世界模型实例 .....	111
9.4.1 操作软件介绍及模拟步骤 .....	111
9.4.2 世界模型简介 .....	112
9.4.3 模拟结果分析 .....	112
主要参考文献 .....	115
复习思考题 .....	115

## 第四篇 生态设计和环境评价

<b>第 10 章 生态设计</b> .....	119
10.1 基本概念 .....	119
10.2 原材料选择 .....	120
10.2.1 环境危害 .....	120
10.2.2 资源储量 .....	121
10.2.3 开采加工 .....	122
10.2.4 再生性 .....	123
10.2.5 减量化 .....	124
10.2.6 生态材料 .....	124
10.3 生产、包装和运输 .....	127
10.3.1 生产过程 .....	127
10.3.2 包装和运输 .....	127
10.4 使用过程 .....	129
10.4.1 减少废物 .....	129
10.4.2 节能降耗 .....	129
10.4.3 延长使用寿命 .....	130
10.5 报废回收 .....	131

---

10.5.1	回收方式 .....	131
10.5.2	考虑因素 .....	132
10.6	生态设计举例 .....	134
10.6.1	超声波洗衣机 .....	134
10.6.2	再生材料座椅 .....	135
10.6.3	无涂料彩色不锈钢 .....	135
10.6.4	超小型图形示波器 .....	136
10.6.5	施乐多功能办公机器 .....	136
10.6.6	“能源之星”建筑 .....	137
10.6.7	绿色汽车 .....	138
10.7	关于绿色建筑 .....	138
10.8	关于绿色汽车 .....	141
	主要参考文献 .....	143
	复习思考题 .....	144
<b>第 11 章</b>	<b>生命周期评价 .....</b>	<b>145</b>
11.1	生命周期评价概述 .....	145
11.1.1	基本概念 .....	145
11.1.2	起源和发展 .....	145
11.1.3	主要特点 .....	146
11.2	生命周期评价方法 .....	146
11.2.1	总体框架 .....	146
11.2.2	目的和范围确定 .....	147
11.2.3	清单分析 .....	147
11.2.4	影响评价 .....	150
11.2.5	总结报告 .....	151
11.3	简化生命周期评价 .....	151
11.3.1	矩阵评价方法 .....	151
11.3.2	靶图分析方法 .....	152
11.3.3	案例 .....	153
11.4	生命周期评价的应用前景 .....	158
	主要参考文献 .....	158
	复习思考题 .....	159

<b>第 12 章 环境影响评价</b> .....	160
12.1 环境影响评价概述 .....	160
12.1.1 环境影响评价概念及其类型 .....	160
12.1.2 环境影响评价的由来 .....	160
12.1.3 环境影响评价的意义 .....	161
12.1.4 我国环境影响评价的实施管理 .....	161
12.2 建设项目环境影响评价 .....	162
12.2.1 项目环评的主要内容 .....	162
12.2.2 项目环评的工作程序 .....	165
12.2.3 实例——江苏徐州阚山发电厂一期工程环境影响评价 .....	166
12.3 规划环境影响评价 .....	167
12.3.1 规划环评的主要内容 .....	167
12.3.2 规划环评中的定量分析法 .....	168
12.3.3 案例 .....	169
12.3.4 规划环评的工作程序 .....	172
主要参考文献 .....	173
复习思考题 .....	173

## 第五篇 循环经济和物质循环

<b>第 13 章 循环经济概述</b> .....	177
13.1 基本概念 .....	177
13.2 发达国家发展循环经济的实践 .....	178
13.2.1 日本循环经济发展概况 .....	178
13.2.2 德国循环经济发展概况 .....	180
13.3 我国发展循环经济的实践 .....	182
13.3.1 我国循环经济发展概况 .....	182
13.3.2 我国发展循环经济的特点 .....	183
13.3.3 我国循环经济工作内容 .....	185
13.4 产品生命周期与 3R 原则 .....	187
13.4.1 产品生命周期中 3R 原则的体现 .....	187
13.4.2 三个层面上的物质循环 .....	189
主要参考文献 .....	190

---

复习思考题 .....	190
<b>第 14 章 社会层面上的物质循环 .....</b>	<b>191</b>
14.1 物质流分析模型 .....	191
14.2 物质流分析指标 .....	193
14.3 计算例题 .....	197
14.4 废钢指数应用实例 .....	201
14.4.1 几种不同来源的废钢 .....	201
14.4.2 实例——中、日、美三国废钢指数的估算 .....	202
14.5 中国的铁、铜、铅的物质流分析 .....	206
14.5.1 中国的铁流图 .....	206
14.5.2 中国的铜流图 .....	207
14.5.3 中国的铅流图(铅酸电池系统) .....	208
主要参考文献 .....	209
复习思考题 .....	210
<b>第 15 章 生态工业园——企业之间的物质循环 .....</b>	<b>212</b>
15.1 基本概念 .....	212
15.1.1 生物共生与工业共生 .....	212
15.1.2 生态工业园的特征 .....	214
15.1.3 生态工业园的类型 .....	214
15.2 实例 .....	215
15.2.1 生态工业园 .....	215
15.2.2 工业园 .....	223
15.3 生态工业园内各企业之间的关联度 .....	225
15.3.1 生物群落关联度 .....	225
15.3.2 园区企业间关联度 .....	228
15.4 园区资源化率 .....	233
15.4.1 园区资源化率的计算方法 .....	233
15.4.2 园区资源化率的计算与分析 .....	235
主要参考文献 .....	237
复习思考题 .....	238
<b>第 16 章 生产流程中物流对能耗、物耗的影响 .....</b>	<b>239</b>
16.1 物质循环对能源消耗的影响 .....	239
16.1.1 生产流程的能耗基准物流图 .....	239

16.1.2	生产流程偏离基准物流图对于吨材能耗的影响 .....	240
16.1.3	生产流程的实际物流图 .....	242
16.1.4	案例 .....	243
16.2	物质循环对资源消耗的影响 .....	246
16.2.1	生产流程的铁耗基准物流图 .....	246
16.2.2	钢铁生产流程偏离基准物流图对于吨材铁耗的影响 .....	247
16.2.3	案例 .....	249
	主要参考文献 .....	250
	复习思考题 .....	251

## 第六篇 企业的绿色化

<b>第 17 章</b>	<b>企业的绿色化</b> .....	255
17.1	绿色企业及企业的绿色化 .....	255
17.2	企业的责任 .....	256
17.3	环境保护在企业中的地位 .....	257
17.4	企业内部的管理工作 .....	258
17.5	企业环保工作思路和工作内容 .....	259
17.6	企业环保工作的原则 .....	260
17.7	关于思维模式 .....	261
	主要参考文献 .....	262
	复习思考题 .....	263

# 第一篇 绪 论

第 1 章 自然生态系统和工业系统

第 2 章 可持续发展观

第 3 章 工业生态学概述

人法地，地法天，天法道，道法自然。

——老子

可持续发展是既满足当代人的需求，又不对后代人满足其自身需求的能力构成危害的发展。

——《我们共同的未来》

科学发展观是以人为本，全面、协调、可持续发展的科学发展观。

——胡锦涛



# 第 1 章 自然生态系统和工业系统

## 1.1 自然生态系统

### 1.1.1 自然生态系统的组成

自然生态系统是在一定的空间和时间范围内，在各种生物之间以及生物群落与其无机环境之间，通过能量流动和物质循环而相互作用的一个统一整体。自然生态系统的生物结构主要由个体、种群、生物群落、生态系统组成。在一定时间和空间内，能够维持生命的具有内部结构的实体称为个体；同一物种的个体的集合体称为种群；种群的集合体称为生物群落；由生物成分和非生物成分，即生产者、消费者、分解者和非生物环境组成的一个整体称为生态系统。

#### 1) 生产者

生产者是指以简单的无机物制造食物的自养生物，如陆地的各种绿色植物、水生的高等植物和藻类，还包括一些光能细菌和化能细菌。生产者借助于光合作用不仅为自身的生存、生长和繁殖提供营养物质和能量，而且它所制造的有机物质也是消费者和分解者唯一的能量来源，没有生产者也就不会有消费者和分解者。可见，生产者是生态系统中最基本和最关键的生物成分，是生态系统的基础。太阳能只有通过生产者的光合作用才能源源不断地输入生态系统，然后被其他生物所利用。

#### 2) 消费者

消费者是针对生产者而言，即它们不能从无机物质制造有机物质，而是靠自养生物或其他生物为食，来获得生存能量的异养生物。主要包括各种动物，如草食动物、肉食动物和寄生动物等，此外，还包括一些寄生菌类。

#### 3) 分解者

分解者又称还原者，主要指微生物，包括细菌、真菌、放线菌等，也包括部分以有机残屑为食的动物、腐食动物和原生动物等。其作用是把动、植物残体和排泄物等复杂有机物分解为生产者能重新利用的简单无机物，并释放出能量，其作用与生产者正好相反。分解者在生态系统中的作用是极为重要的，如果没有它们，动、植物尸体和排泄物将会堆积成灾，物质不能循环，生态系统将毁灭。分解者在任何生态系统中都是不可缺少的组成部分。