

Crossing "Environmental Mountain"
— Study on Industrial Ecology

陆钟武 著

穿越“环境高山”

——工业生态学研究

 科学出版社
www.sciencep.com

穿越“环境高山”

——工业生态学研究

Crossing “Environmental Mountain”

—Study on Industrial Ecology

陆钟武 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是一部具有创新思想,紧密联系中国实际的工业生态学专著。书中主要创新点有:以穿越“环境高山”为比喻,从理论上阐明了新型工业化道路在环境与发展二者关系方面的基本特征;导出了环境负荷与经济增长“脱钩”的条件公式;提出了“以控制资源消耗量为重点,进一步完善末端治理,提高环境自净能力”的环保工作思路;阐明了不加分析地把中国单位 GDP 的消耗量指标与西方发达国家进行对比的做法,是不科学的;提出了把工业物质循环划分为小循环、中循环和大循环三个不同层面上循环的看法;提出了物质流分析的跟踪观察法,揭示我国经济高速增长情况下物质流方面的特殊规律;明确了我国钢铁工业废钢资源严重短缺的主要原因是钢产量持续高速增长;提出了分析生产流程资源效率和环境效率的基准物流图法;提出了生态工业园废品资源化率的计算公式及其应用方法;强调了企业绿色化过程中必须实现的各种变革,提出加快我国企业绿色化进程的建议;提出了我国高等教育为可持续发展服务的必要性和迫切性,以及为此需要采取的措施。

本书观点新颖、内容丰富,有助于关心资源环境问题的各界人士和大专院校师生扩展知识,开拓思路。

图书在版编目(CIP)数据

穿越“环境高山”:工业生态学研究 = Crossing “Environmental Mountain”:
Study on Industrial Ecology. / 陆钟武著. — 北京:科学出版社,2008
ISBN 978-7-03-020224-6

I. 穿… II. 陆… III. 工业-环境生态学-研究 IV. X171

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 021081 号

责任编辑:王志欣 王贻社 / 责任校对:曾 茹
责任印制:刘士平 / 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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 3 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2008 年 3 月第一次印刷 印张: 23 3/4

印数: 1—3 000 字数: 451 000

定价: 72.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(科印))

本书编辑组成员：

陆钟武 杜 涛 岳 强

前 言

这些年来,在工业生态学方面,我和我的合作者们撰写了不少文章,其中绝大多数以前都发表过。现在把这些文章中的一部分重新编辑成册,正式出版。这样,大家阅读起来可能会方便一些。

穿越“环境高山”,是本书的主题,其中每篇文章都是围绕着这个主题展开的,只是各有侧重而已。这就是本书书名的由来。

本书的第一部分是“概论”,内容是“工业生态学概论”。

本书的第二部分是“环境保护的总体思路”,第三部分是“工业物质循环”,第四部分是“企业的绿色化”,这三个部分选用的文章最多。可见,这些方面是我和我的合作者们这些年来的研究重点。

第五部分是“高等教育为可持续发展服务”,选用了两篇文章,只能算是提出了问题,没有展开讨论。

本书共选用中文写的文章 24 篇,其中 10 篇附有英文稿,两种文字的稿子内容基本相同,可以互相参照;此外,还有 1 篇文章是直接用英文写的,没有译成中文。

本书对于我国经济管理、资源环境和工业生产领域的从业人员以及高等学校的师生都有参考价值。

本书的编辑组成员是:杜涛、岳强和我本人。杜涛、岳强两位博士承担了许多繁杂细致的工作。在此,我向他们表示衷心感谢。

工业生态学的学术领域很宽,本书仅涉及了其中的一些方面。即使是在这些方面,本书的内容也只是我们一家之言,疏漏和不妥之处在所难免,望广大读者不吝赐教。



2007 年 11 月于东北大学

目 录

前言

第一部分 概论

第一章 工业生态学概论	3
-------------------	---

第二部分 环境保护的总体思路

第二章 经济增长与环境负荷之间的定量关系	15
----------------------------	----

第三章 穿越“环境高山”——论经济增长过程中环境负荷的上升和下降	24
--	----

Crossing “Environmental Mountain”—On the Increase and Decrease of Environmental Load in the Process of Economic Growth	34
---	----

第四章 控制资源消耗量与环境保护	45
------------------------	----

第五章 关于循环经济规划	53
--------------------	----

第六章 中美两国经济发展与铜消费量对比	59
---------------------------	----

第七章 生态足迹分析法及其应用	69
-----------------------	----

第三部分 工业物质循环

第八章 关于循环经济的几个问题	79
-----------------------	----

On the Recycling of Industrial Materials	88
--	----

第九章 物质流分析的跟踪观察法	98
-----------------------	----

An Alternative Way of Substance Flow Analysis	111
---	-----

第十章 钢铁产品生命周期的铁流分析	126
-------------------------	-----

第十一章 钢铁工业废钢资源的基础研究	144
--------------------------	-----

第十二章 论钢铁工业的废钢资源	157
-----------------------	-----

第十三章 铅酸电池系统的铅流分析	168
------------------------	-----

The Eco-efficiency of Lead in China’s Lead-acid Battery System	178
--	-----

第十四章 中国铜循环分析	196
--------------------	-----

An Analysis of Contemporary Copper Recycling in China	205
---	-----

第十五章 中国铁循环分析	221
--------------------	-----

第十六章 The Study of Metal Cycles in China	226
---	-----

第四部分 企业的绿色化

第十七章 我国企业的绿色化问题	243
-----------------------	-----

第十八章 谈企业发展循环经济	252
----------------------	-----

第十九章 钢铁生产流程的物流对能耗的影响	259
----------------------------	-----

The Influence of Materials Flow in Steel Manufacturing Process on Its Energy Intensity	273
---	-----

第二十章	钢铁生产流程中物流对能耗和铁耗的影响	284
	The Influence of Materials Flow in Steel Manufacturing Process on Its Energy Intensity and Iron Intensity	297
第二十一章	钢铁生产流程的物流对环境效率的影响	312
	The Influence of Materials Flow in Steel Manufacturing Process on Atmosphere Environmental Load	320
第二十二章	钢铁工业水的资源效率	328
第二十三章	拜耳法生产氧化铝流程的物流对能耗的影响	334
	The Influence of Materials Flow in Alumina Manufacturing Process with Bayer Method on Its Energy Intensity	341
第二十四章	定量评价生态工业园区的两项指标	349
第五部分	高等教育为可持续发展服务	
第二十五章	大学为可持续发展服务	359
	Contributing to Sustainable Development—The Mission and Value of Higher Education	364

Contents

Preface

Part One: Introduction

Chapter 1	An Introduction to Industrial Ecology	3
-----------	---	---

Part Two: General Idea of Environment Protection

Chapter 2	The Quantitative Relationship Between Economic Growth and Environmental Load	15
Chapter 3	Crossing "Environmental Mountain"—On the Increase and Decrease of Environmental Load in the Process of Economic Growth	24
	Crossing "Environmental Mountain"—On the Increase and Decrease of Environmental Load in the Process of Economic Growth(English)	34
Chapter 4	Controlling Resources Use and Environment Protection	45
Chapter 5	On Circular Economy Programming	53
Chapter 6	Economic Growth and Copper Consumption—The Comparison between China and USA	59
Chapter 7	Ecological Footprint Analysis and Its Application	69

Part Three: The Recycling of Industrial Materials

Chapter 8	Some Aspects of Circular Economy	79
	On the Recycling of Industrial Materials(English)	88
Chapter 9	The "Following-observing" Method for Substance Flow Analysis	98
	An Alternative Way of Substance Flow Analysis(English)	111
Chapter 10	Iron Flow Analysis for the Life Cycle of Steel Products	126
Chapter 11	A Study on the Steel Scrap Resources for Steel Industry	144
Chapter 12	On the Steel Scrap Resources for Steel Industry	157
Chapter 13	Lead Flow Analysis for the Lead-acid Battery System	168
	The Eco-efficiency of Lead in China's Lead-acid Battery System(English) ...	178
Chapter 14	An Analysis of Copper Cycle in China	196
	An Analysis of Contemporary Copper Recycling in China(English)	205
Chapter 15	An Analysis of Iron Cycle in China	221
Chapter 16	The Study of Metal Cycles in China(English)	226

Part Four: Greening the Industrial Enterprises

Chapter 17	On Greening the enterprises in P R China	243
Chapter 18	On Developing Circular Economy in Enterprises	252

Chapter 19	The Influence of Materials Flow in Steel Manufacturing Process on Its Energy Intensity	259
	The Influence of Materials Flow in Steel Manufacturing Process on Its Energy Intensity(English)	273
Chapter 20	The Influence of Materials Flow in Steel Manufacturing Process on Its Energy Intensity and Iron Intensity	284
	The Influence of Materials Flow in Steel Manufacturing Process on Its Energy Intensity and Iron Intensity(English)	297
Chapter 21	The Influence of Materials Flow in Steel Manufacturing Process on Atmosphere Environmental Load	312
	The Influence of Materials Flow in Steel Manufacturing Process on Atmosphere Environmental Load(English)	320
Chapter 22	On Water Resource Efficiency for Steel Industry	328
Chapter 23	The Influence of Materials Flow in Alumina Manufacturing Process with Bayer Method on Its Energy Intensity	334
	The Influence of Materials Flow in Alumina Manufacturing Process with Bayer Method on Its Energy Intensity(English)	341
Chapter 24	Two Indices for Eco-Industrial Park	349

Part Five: Higher Education for Sustainable Development

Chapter 25	Contribution of Higher Education to Sustainable Development	359
	Contributing to Sustainable Development—The Mission and Value of Higher Education(English)	364

第一部分 概 论

Part One: Introduction

第一章 工业生态学概论*

工业生态学(industrial ecology)是一门新兴的学科。

工业生态学是为可持续发展(sustainable development)服务的。

学习、宣传工业生态学的基本观点和方法,取得广泛共识,是开展工作的基础。

运用工业生态学的观点、理论和方法,在实际工作中迈出坚实的步伐是当务之急。

工业生态学内容广泛,本章不可能面面俱到,仅就以下 10 个方面做概要介绍:

①可持续发展;②控制方程;③工业生态学的定义及内涵;④生态系统与工业系统;⑤工业系统的进化;⑥工业污染物的代谢过程;⑦产品生命周期的评价(LCA);⑧工业生态学发展过程;⑨关于末端治理、源头治理、绿色生产;⑩未来的经济模式。

1 可持续发展

因为工业生态学是为可持续发展服务的,所以必须先讲一下可持续发展问题。

什么叫可持续发展?在文献中可查到各种不同的定义。但比较公认的是《我们共同的未来》**一书中提出的定义,即“满足当代人的需求又不危及后代人满足其需求的发展。”其中:①强调“发展”。满足人类生产、生活不断发展的要求。②强调“公平”。代际之间体现公平原则。③强调“合作”。国际、区际之间互补与合作。④强调“协调”。人与自然之间的协调。

很清楚,可持续发展是指全球、全人类而言的,它不是指某地区、某行业而言的,更不是指某公司、某产品而言的。然而,日常生活中,常常见到这类不规范的、似是而非的提法,如“某公司的可持续发展”、“某行业的可持续发展”等。事实上,有些行业在其资源耗尽后,就不复存在;至于产品,则更是在经常更新换代,哪里谈得上可持续发展!

可持续发展,是在人类赖以生存的地球遭到日益严重破坏的情况下,在总结经

* 2001~2003 年,陆钟武教授曾在不同场合多次做报告,介绍工业生态学这门新兴学科。内容的广度和深度变动很大,需要随时调整。本章引用的资料是 2001 年在“工业与生态 2001 国际研讨会”上的报告,引自《工业与生态 2001 国际研讨会报告文集》,P1~13,作者:陆钟武。

** 世界环境与发展委员会,1987 年。

验教训的基础上提出来的。自然资源日趋枯竭、水资源匮乏、水域被污染、全球气候异常、臭氧层被破坏、酸雨、沙尘暴、土地沙化、耕地面积缩小、物种锐减、垃圾成灾、有毒物质剧增等问题,都是严重的现实。这种状况如果不扭转,任其发展下去,那么人类的未来是很不乐观的。在这种严峻的情况下,可持续发展问题当然就提到议事日程上来了。

早在 100 多年前,恩格斯就说过:“我们不要过分陶醉于我们对自然界的胜利。对于每一次这样的胜利,自然界都报复了我们”。这真是眼光远大的精辟论断。

我国古代就有“天人合一”的论述,阐明了人与自然之间的关系应该是协调,而不是对抗、征服等。

2 控制方程

控制方程(the master equation)是环境问题的总体方程,其中把造成环境负荷的人类活动分解为人口、人均 GDP 和单位 GDP 的环境负荷三大要素,即

$$\text{环境负荷} = \text{人口} \times \text{人均 GDP} \times \text{单位 GDP 的环境负荷}$$

$$(1) \quad (2) \quad (3)$$

(1) 人口:经过三次飞跃(使用原始工具→农业革命→工业革命);趋势是不断增长;希望能渐趋稳定。

(2) 人均 GDP:趋势是不断增长。

(3) 单位 GDP 环境负荷:可以通过努力,使单位 GDP 环境负荷大幅度降低。

就 21 世纪上半叶而言,设:人口翻一番($\times 2$),人均 GDP $\times (3 \sim 5)$,则:单位 GDP 环境负荷 $\div (6 \sim 10)$,才能保持现有环境负荷不变。

3 工业生态学的定义及内涵

工业生态学是可持续发展的科学(industrial ecology is the science of sustainability)。Graedel 和 Allenby 将其定义为:

Industrial ecology is the means by which humanity can deliberately and rationally approach and maintain a desirable carrying capacity, given continued economic, cultural, and technological evaluation. The concept requires that an industrial system be viewed not in isolation from its surrounding systems, but in concert with them. It is a systems view in which one seeks to optimize the total materials cycle from virgin materials, to finished materials, to component, to obsolete products, and to ultimate disposal. Factors to be optimized include resources, energy, and capital.

翻译为：

“工业生态学是一种工具。人们利用这种工具,通过精心策划、合理安排,可以在经济、文化和技术不断进步的情况下,使环境负荷保持在所希望的水平上。为此,要把工业系统同它周围的环境协调起来,而不是把它看成孤立于环境之外的独立系统。这是一个系统的观点,它要求人们尽可能优化物质的整个循环系统:从原料到制成的材料、零部件、产品,直到最后的废弃物,各个环节都要尽可能优化。需要优化的因素,包括资源、能源和资金。”

请注意,工业生态学的研究思路,是以系统为基础的(system-based),这种思路完全不同于研究“微观”问题的还原论(reductionism)的思路。所以,为了开展工业生态学方面的工作,必须养成从系统的角度看问题的习惯。

此外,还要说明工业生态学的多学科性。如图 1.1 所示,工业生态学涉及自然科学、工业技术和人文科学的许多学科。各学科从各自不同的角度去研究工业生态学,是全面推进工业生态学的必要条件。大学里的许多专业都应开设工业生态学这门课程。开展工业生态学方面的工作时,最好组成跨学科的队伍。采取这些措施都是由工业生态学的多学科性决定的。

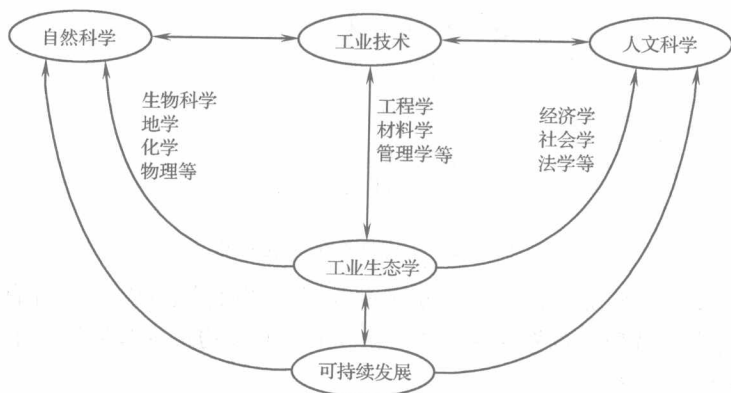


图 1.1 工业生态学的多学科性

4 生态系统与工业系统

4.1 生态系统

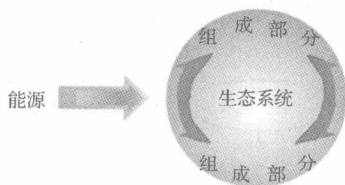
了解一下自然生态系统(ecosystem)的进化、演变过程,对于研究工业系统是十分有益的。自然生态系统的进化、演变过程可以划分为三个阶段,如图 1.2 所示。



(a) 一级生态系统示意图
(系统内物质单向流动)



(b) 二级生态系统示意图
(系统内有物质的循环流动)



(c) 三级生态系统示意图
(系统内形成物质的闭路循环)

图 1.2 生态系统的进化过程

(1) 一级生态系统。各组成部分在索取资源和排放废物方面,各自独立、互不相关。各组成部分所需的资源来自“环境”,排出的废物进入“环境”,而且二者数量相等(物质不灭定律)。

(2) 二级生态系统。各组成部分相互依存,形成了物质的循环。系统内的物质流大于系统与环境之间的物质流。但是,这个系统仍不可能永续下去。因为,归根到底,物质流仍是单向的,资源不可避免地逐渐减少,废物不可避免地逐渐增多。

(3) 三级生态系统。形成了物质的闭路循环,它不再从环境中索取任何资源,也不向环境中排放任何废物。整个系统靠太阳能运转,因此它是可永久持续下去的。

4.2 工业系统

工业系统(industrial metabolic system)的现状是以一级系统和二级系统为主

构成。

较为理想的工业系统如图 1.3 所示。尽可能少地从自然界中索取资源(能源),尽可能少地向自然界排出废物;靠系统内物质循环,尽可能多地生产产品,多创造财富,才是较为理想的工业系统。

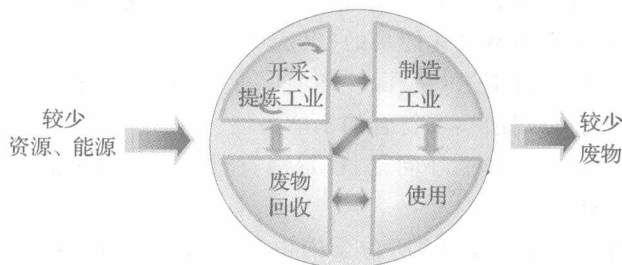


图 1.3 较为理想的工业系统示意图

5 工业系统的进化

自工业革命以来,各类工业一直在不断进步。但是,在长远的历史进程中,当今的工业,应该说仍处于进化的初期。为了使工业系统变得更加理想,甚至逐步向三级生态系统那样的模式靠拢,工业系统进化的要点如下:

1) 企业内部的物质循环

生产过程中产生的废物、残余物不排入环境,而是循环回去进行重新处理。这样既不会增加环境负荷,又可以给企业增加效益。

2) 企业外部的物质循环

报废产品循环使用,以代替天然原料。这样既有利于保存天然资源,又可以降低环境负荷。

但是,在实施过程中有不少难点,其中主要的难点有:有些工业制品是许多部件的组合体,各部件的化学成分又各不相同,这种工业制品报废后,不易进行分解、分拣工作;有些合金材料成分复杂,不便回收提纯;橡胶等材料,每经过一次再生回收,其性能就下降一次,最后变得无法再回收利用等。此外,在使用过程中锈蚀掉的或长久埋于地下的材料均无法回收;一次性的消耗品(如燃料、肥皂、油漆、杀虫剂等)使用后也不可能回收。

然而,千方百计提高物质的循环率,是工业系统进化的重要方向。

3) 物质的减量化(dematerialization)

一般说来,“物质减量化”的意思,很接近于人们常说的“少用料,多出活”这句话。亦即为了生产有同样功能的产品,应尽可能降低原材料消耗。

在这方面,由于技术进步等各种原因,在过去一些年代里已经取得了不少进展。例如,汽车的质量已降低了不少;用光纤代替铜线作为通信线路后,原材料消耗大幅度降低了等。

今后,进一步推行“物质减量化”方针的技术措施,无非是研制新一代材料(含纳米材料、超级钢等)、调整产品结构、改进产品设计以及改进生产工艺等。不过,必须牢记,我们研究物质减量化的目的(出发点)是保护环境和保存资源,所以对各种生产技术上的变革,都应进行资源和环境评价(详见本章第7节),看它是否符合这个方向。符合的可以提倡,不符合的不能提倡。

其实,前面所说的物质循环问题,也是物质减量化的重要途径,因为物质循环有利于少用天然资源。

从广义上讲,“物质减量化”所包含的内容是极广泛的,其中甚至包括经营策略、社会风气 and 生活方式等,本章不再进一步展开,读者可参见有关文献。

4) 碳的减量化(decarbonization)

“碳的减量化”是从英文直译过来的名词,其实就是减少 CO_2 排放量。其目的是减轻大气层的温室效应。

CO_2 的主要来源是各工业部门和交通车辆使用的大量含碳燃料。所以,“物质减量化”与“碳减量化”,二者是直接关联的。实现前者,必然有利于后者。除此之外,碳减量化的主要出路分为以下三个层次:节能(含系统节能);降低燃料的 C/H 比;可再生能源及 H_2 。

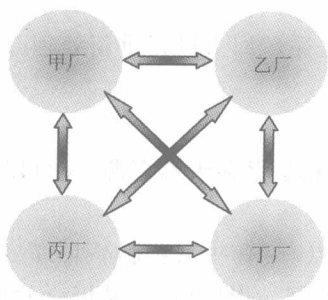


图 1.4 生态工业园示意图

5) 生态工业园(Eco-industrial park)

如图 1.4 所示,甲、乙、丙、丁诸厂之间,互相利用对方的废物及废能,形成互补格局。

世界各国对生态工业园的建设都非常重视。如 1993 年,美国的可持续发展总统委员会(PCSD)组建了一个生态工业园区特别工作组。1997 年提出了 15 个 EIP 规划。丹麦卡伦堡的生态工业园也是一个很好的范例。

6) 从出售产品,转为出售“服务”

产品制造公司传统的经营模式是出售产品。现在,有一些有远见的公司已改变了这种模式,他们从出售产品转变为出售“服务”(即产品所提供的功能)。

例如,施乐公司(Xerox)现在已不再生产“新的”复印机,而是“再造”(remanufacturing)复印机。它定期为租用复印机的用户进行保养、维修、更新,随时把新出现的技术装到用户的复印机上去。这样一来,复印机的使用寿命会长很多,复印机对天然资源的需求,以及对环境的破坏能减轻很多;公司的利润仍很丰