

生态·环境与生态工程丛书

SHENGTAI HUANJING YU SHENGTAI GONGCHENG CONGSHU

工业生态学 ——理论与应用

● 邓南圣 吴 峰 主编



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

生态·环境与生态工程丛书

工业生态学——理论与应用

邓南圣 吴 峰 主编

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

工业生态学——理论与应用/邓南圣 吴峰主编. —北京:
化学工业出版社, 2002.3
(生态·环境与生态工程丛书)
ISBN 7-5025-3745-7

I. 工… II. ①邓… ②吴… III. 工业-环境生态学
IV. X171

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002) 第 014259 号

生态·环境与生态工程丛书
工业生态学——理论与应用
邓南圣 吴 峰 主编
责任编辑: 侯玉周
责任校对: 蒋 宇
封面设计: 于 兵

*

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
北京市燕山印刷厂印刷
三河市东柳装订厂装订
开本 850 × 1168 毫米 1/32 印张 13½ 字数 361 千字
2002 年 5 月第 1 版 2002 年 5 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-3745-7/X·162
定 价: 30.00 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

《工业生态学——理论与应用》编写人员

主 编	邓南圣	吴 峰			
编写人员	李顺兴	向 武	王宗平	王小兵	
	张 喆	徐 栋	张亚平	葛利云	

内 容 提 要

本书是《生态·环境与生态工程丛书》中的一本。较全面、系统地介绍了工业生态学的理论、方法学和实践。介绍了工业生态学及其发展；工业系统的进化与工业生态重组、物质与能量的流动及物质减量化；对生命周期评价、为环境设计、延伸生产者责任、产品导向的环境政策以及生态效益等方法学和工具作了较为详细的论述；介绍了工业生态学的实践——生态工业园和国内外工业生态学教育的情况。

本书系统性强，取材新，内容丰富，可作为环境科学与工程工程专业教师与学生的参考用书。对环境科学研究人员、环境管理人员、工业园区管理与决策人士、政府有关部门的工作与决策人士、企业管理人员和大学生而言，此书也有重要的参考价值。

前 言

可持续发展是人类在漫长的社会发展中，不断探索得出的正确结论，是当今国际社会的共识，是人类社会发展的必由之路。

20 世纪 80 年代末以来，在可持续发展思想形成的同时，人们一直在研究和寻求如何实现可持续发展。人们认识到，深入认识工业系统与环境的相互关系，解决它们之间存在的冲突，是实现可持续发展必须解决的关键问题。这是因为，一方面，工业系统是现代社会经济系统的核心，是社会发展的动力，它提供的产品和服务构成了现代文明的物质基础。另一方面，工业体系是人类社会与自然生态系统相互作用最为强烈的一个子系统，在人类各种活动中，工业活动对自然环境冲击最大，由此造成对自然环境的损害也最为严重。因此，工业体系与自然环境之间的协调发展对人类的可持续发展起着举足轻重的影响。近 10 多年来，发达的工业化国家在研究、解决工业发展与环境这一矛盾的过程中，逐步建立了系统、整体化解决这一问题的理论框架和方法，形成了一门崭新的学科——工业生态学（Industrial Ecology）。

工业生态学是一门新兴、蓬勃发展的综合、交叉学科，是一门研究人类工业系统和自然环境之间的相互作用、相互关系的学科。工业生态学为研究人类工业系统与自然生态系统的协调发展提供了一种全新的理论框架，为协调各学科与社会各部门共同解决工业系统与自然生态系统之间的冲突提供了具体、可供操作的方法，为可持续发展的理论奠定了厚实的基础。工业生态学追求的是人类社会和自然生态系统的和谐发展，寻求经济效益、生态效益和社会效益的统一，最终实现人类的可持续发展。

工业生态学诞生仅仅十来年，但其理论研究与应用已经取得了长足的进展。为了使研究生对这一学科的发展有所了解，近年来，

编者分别给硕士和博士研究生讲授了工业生态学的有关内容。在教学过程中,深感国内极为缺乏较为深入、系统介绍工业生态学的相关资料,这也促使我们通过各种渠道收集国外的研究信息,不断充实教学内容。通过几年的努力,收集了大量的资料,经过筛选、归纳、整理,逐步形成了本书内容的基本框架。

本书共十一章,主要内容按工业生态学的理论、方法学和实践三部分递进展开。理论部分由第二、三、四章构成,分别介绍了工业生态学关于工业系统的进化与工业生态重组、物质与能量的流动及物质减量化和脱碳的基本原理。方法学部分由第五、六、七、八、九章组成,分别对生命周期评价、为环境设计、延伸生产者责任、产品导向的环境政策和生态效益等作了较为详细的论述。在第十章,介绍了工业生态学的重要实践——生态工业园。这些内容与耶鲁大学和麻省理工大学合办的《工业生态学杂志》(Journal of Industrial Ecology)和2000年成立的工业生态学国际学会(The International Society for Industrial Ecology)所提出的主要研究领域相一致。另外,第一章和第十一章分别介绍了工业生态学及其发展和国内外工业生态学教育开展的情况。

本书是集体智慧和努力的结果。第一章和第三章由邓南圣编写,第二章、第十章由吴峰、葛利云编写,第四章由向武编写,第五章由李顺兴、张喆编写,第六章由五宗平和张亚平编写,第七章由张喆编写,第八章由张亚平编写,第九章由王小兵编写,第十一章由徐栋编写。最后,全书由邓南圣统稿。

化学工业出版社对新兴学科的远见卓识,催生了《工业生态学——理论与应用》,使本书在一年内得以与读者见面。在此谨表示崇高的敬意和深深的谢意。在本书的编写过程中,得到杜予民教授的关注与指导,在此表示衷心的感谢。

感谢瑞士的 Surem Erkman 先生、法国 IESAD 的 Robert Ayres 先生慷慨提供文献资料和讨论有关工业生态学和生态重组的问题。感谢网络的延伸与发展,为我们及时收集资料和快捷交流提供了近乎无限的可能。

由于工业生态学是一门综合与交叉的新兴学科，涉及的学科众多，加之编写时间紧，收集的资料有限，再囿于编者的知识背景、水平与见识，书中的疏漏与不妥之处难免，切盼各位同仁赐教。

编者

2001 年 12 月于珞珈山

目 录

第一章 导论	1
第一节 工业活动对自然环境的扰动	3
一、人类活动对自然环境的扰动	3
二、工业活动对自然环境的扰动及其后果	7
三、可持续发展——人类社会发展的必由之路	16
第二节 工业生态学	18
一、工业生态学发展的历程	18
二、工业生态学的研究领域与特点	22
三、工业生态学研究的意义	27
参考文献	28
第二章 工业生态学的理论框架	31
第一节 工业生态系统的基本概念	31
一、生态系统与工业生态系统	31
二、工业生态群落	33
三、工业生态系统组成部分	34
四、工业生态系统中的物质与能量流动	35
五、工业生态系统的平衡	35
第二节 工业生态系统的进化	36
一、一级生态系统	37
二、二级生态系统	38
三、三级生态系统	39
第三节 工业系统的生态重组	41
一、生态重组	42
二、生态重组的实现	44
三、工业转型	46
参考文献	48
第三章 原料与能量流动	49

第一节 原料与能量的流动的基本问题	50
一、工业系统与全球自然生态系统	50
二、经济系统的原料与能量流动特征	50
三、原料与能量流动分析的基本方法	52
四、工业代谢	54
第二节 原料与能量的流动分析	61
一、原料与能量流动分析的基本框架	61
二、原料与能量流动分析示例	63
第三节 原料与能量流动分析方法与模型	71
一、荷兰 STREAMS 物质流动分析的方法	71
二、德国的原料与能量流动的核算	88
三、烟分析法对钢铁工业原料与能量流动核算	93
参考文献	97
第四章 物质减量化	99
第一节 物质减量化的内涵	99
一、物质减量化的含义	99
二、开展物质减量化研究的重要性	100
第二节 物质减量化的评估方法	102
一、物质利用强度	103
二、IU 的经验分析理论	105
三、综合物质利用的评估	113
第三节 产品的物质减量化	118
一、能量再利用	119
二、产品的耐久性设计和再设计	119
三、产品的修理、再利用和再制造	121
四、产品分解、拆散和再循环	122
五、智能材料的研发	124
六、分子重构和纳米化学	125
七、石化产品与能源脱碳	126
第四节 服务、信息技术与物质减量化	129
一、服务和信息技术有助于促进物质减量化的潜力	130
二、作为商业策略的服务取向	132
三、未来的研究方向和存在的问题	133

参考文献	134
第五章 生命周期评价	135
第一节 生命周期评价及其发展	136
一、生命周期评价的起源和发展	136
二、生命周期评价及其特点	139
第二节 生命周期评价的基本原则与框架	143
一、生命周期评价的基本原则与框架	143
二、生命周期评价报告	145
三、生命周期评价的局限性	146
第三节 生命周期评价目的和范围的确定	147
一、研究目的	147
二、研究范围	147
第四节 生命周期清单分析	151
一、清单分析的目的	151
二、清单分析的基本步骤和方法	152
第五节 生命周期影响评价	158
一、生命周期影响评价的框架	158
二、影响评价方法	161
第六节 生命周期评价的应用	164
一、生命周期评价的应用	164
二、生命周期评价在工艺选择、设计和最优化的应用	165
三、生命周期评价在环境标志中的应用	171
四、生命周期评价在我国的应用	176
五、生命周期评价工具简介	177
第七节 生命周期评价研究实例	181
一、食品生产中产生的温室气体生命周期研究	181
二、沃尔沃汽车的生命周期评价研究	185
三、燃料电池的生命周期评价研究	189
四、生命周期评价在提供空调服务中的应用	194
参考文献	202
第六章 为环境而设计	205
第一节 为环境而设计	205
一、为环境而设计的原理	206

二、为环境而设计的实施	208
第二节 生命周期设计	222
一、生命周期设计基础	222
二、生命周期设计要求、策略和步骤	225
第三节 为环境设计的应用	229
一、为环境设计的应用	229
二、生态设计的应用	232
第四节 生命周期设计的应用	234
一、牛奶包装生命周期设计应用实例	234
二、机油过滤器的生命周期设计	248
参考文献	259
第七章 延伸生产者责任	261
第一节 延伸生产者责任的发展概况	262
一、发展概况	262
二、延伸生产者责任的定义和意义	264
第二节 延伸生产者责任的基本原理	265
一、生产者责任的延伸	265
二、延伸生产者责任的推行	267
第三节 延伸生产者责任的实践	268
一、延伸生产者责任的实践	268
二、延伸生产者责任的发展前景	274
参考文献	276
第八章 产品导向的环境政策	277
第一节 产品导向的环境政策的发展概况	277
一、丹麦的产品导向的环境政策	278
二、瑞典的产品导向的环境政策	279
三、北欧的产品导向的环境政策	279
第二节 产品导向环境政策的基本原理	280
一、产品导向的环境政策及其总体目标	280
二、产品导向的环境政策的实施与意义	281
第三节 综合产品政策	282
一、欧洲公共综合产品政策的框架	282
二、综合产品政策的基本原则	284

第四节 产品导向的环境政策的实践	286
一、产品导向的环境政策在丹麦的推行	287
二、产品导向的环境政策在挪威的推行	289
参考文献	291
第九章 生态效益	293
第一节 生态效益的发展历程与概念	294
一、发展历程	294
二、基本概念	295
第二节 生态效益指标体系与报告	300
一、生态效益的度量	300
二、生态效益指标选择的基本原则与框架	302
三、生态效益报告	311
第三节 实施生态效益的条件、方法与实务	314
一、实现生态效益的条件	314
二、实现生态效益的基本方法	316
三、APEC 推荐的中小企业实现生态效益实务介绍	317
第四节 生态效益与清洁生产	328
一、清洁生产简介	328
二、生态效益与清洁生产的联系	330
三、生态效益与清洁生产的主要区别	333
第五节 生态效益的推广和应用前景	335
一、生态效益的推广	335
二、生态效益的应用前景	339
参考文献	340
第十章 生态工业园	342
第一节 生态工业园先驱——丹麦的卡伦堡工业共生体	342
一、工业共生体的基本组成	343
二、能源的多级使用和副产物（废物）的利用	343
三、效益分析	346
四、特点	346
第二节 生态工业园基本概念与特征	347
一、定义	348
二、特征	349

三、分类	350
第三节 国外的生态工业园	351
一、美国生态工业园	351
二、加拿大生态工业园	354
三、日本生态工业园	357
四、发展中国家的生态工业园	361
第四节 国内的生态工业园现状	365
一、广西贵港国家生态工业（制糖）示范园区	365
二、天津经济技术开发区生态工业园	367
三、南海国家生态工业示范园区	368
第五节 生态工业园规划设计与运行	368
一、规划设计	368
二、运行机制	371
三、实施途径	374
第六节 讨论与展望	376
一、生态工业园面临的挑战	377
二、我国建设生态工业园的思考	378
参考文献	379
第十一章 工业生态学教育	382
第一节 工业生态学教育的必要性	382
第二节 国外大学的工业生态学教育	385
一、耶鲁大学的工业环境管理教育计划	385
二、挪威理工大学的工业生态学教育	392
三、丹麦技术大学的工业生态学教育	396
四、荷兰 DELFT 技术大学的探索	398
五、康奈尔大学的生态工业发展计划	398
六、卡内基梅伦大学的绿色设计创新计划	399
七、加州大学柏克利分校的绿色设计与制造协会	400
八、加拿大达尔荷西大学工业生态学研究小组	400
第三节 工业生态学教学案例	401
一、哈佛大学肯尼迪政府学院教学案例	402
二、密执根大学的自然资源与环境学院教案举例	404
第四节 中国工业生态学教育的现状与思考	406

参考文献	409
附录	411
附录一 工业生态学研究机构网址	411
附录二 国外生态工业园项目站点和网址	413

第一章 导 论

迄今为止，在人类所了解到的浩瀚宇宙中，地球是惟一具有生灵的星球。

人类自诞生以来，便充分运用自己的智慧和能力，为自身更好的生活而不断地改变自然环境，发展是人类社会永恒的主题。因此，人类对自然环境的扰动是必然的。在远古时期，人类活动对自然环境扰动所产生的后果，被全球系统的自我平衡与修复作用而抵消。但是自人类进入农业文明开始，其活动对自然环境的影响就不断扩大。不能忽略，而进入工业文明时代后，这些活动对自然环境造成日趋严重的冲击，现在正以空前的速度、幅度和空间规模改变着全球环境，由此产生了一系列的局部和全球环境问题。这些问题影响着人类社会的发展，并危及人类的生存。

人类在追求自身的文明、进步过程中逐步认识到，自然环境是人类社会发展的物质基础，人类只是自然生态系统的一个成员。人类不可能任意地改造自然环境和无限地利用地球资源，其生存和活动必然受到地球自然生态系统的发展及其规律的制约。人们认识到，人类自身组成了一个复杂的社会经济系统，它由科学、文化、经济、法律等诸多因子构成。它不是凌驾于自然生态系统的一个系统，而是被包围在其中的一个特殊的子系统。人们认识到，影响人类生存的因素是地球大气圈、水圈、岩石圈、生物圈相互作用并与人类子系统相互作用的结果。人们还认识到，人类面对的是一个复杂系统，为解决人类生存和发展这一重大问题，人类要认识与解决的是自然生态系统和人类经济社会系统本身复杂的运行机制和它们之间的相互作用的复杂性的综合性问题。

人类如何摆正自身在自然生态系统的位置，如何深入认识自然生态系统及其运行机制，如何深入了解人类社会系统自身的结构与

运行机制，如何洞察人类社会系统与自然生态系统的相互关系与作用，如何控制和重新设计自身的活动，使人类社会与自然生态系统得以协调发展，从而保证人类社会的发展。所有这些，一直都是人类在探索和希望解决的重大问题。

时间跨度长达 20 年的三次全球范围内保护环境的重要活动是人类对这一问题认识的表现与深化：1972 年 6 月 5~16 日，联合国在斯德哥尔摩首次召开了人类环境会议^[1]，表明人类对自身活动所产生的后果开始有了明确的反思，是人类第一次在全球范围内共同采取保护地球的重大行动。1987 年，联合国世界环境与发展委员会向联合国提交了题为“我们共同的未来”的报告^[2]，就世界环境与人类发展的关键问题作了全面和系统的评价，明确提出可持续发展的思想。1992 年，联合国在巴西里约热内卢召开了环境与发展大会，183 个国家和 70 个国际组织及非政府组织的代表参加了会议，会议通过了环境与发展的《里约热内卢宣言》、《21 世纪议程》，在世界范围内第一次把可持续发展由理论推向行动^[3]。走可持续发展之路，这是人类在漫长的社会发展中，不断探索得出的正确的结论，是人类对自身的发展与其居住行星关系深刻的认识，是人类社会发展的必由之路。

“可持续发展，即 Sustainable Development，简称为 SD，作为一种概念提出已近 20 年；作为一种应对措施，已近半个世纪；作为一种发展思想，可能年代更为久远”^[4]。

20 世纪 80 年代末以来，在可持续发展思想形成的同时，人们一直在研究和寻求如何实现可持续发展。人们清楚地认识到，了解人类社会庞大、复杂的工业系统与环境的关系到解决它们之间存在的问题，是实现人类社会可持续发展的核心问题。这是因为，一方面，工业系统是现代社会经济系统的核心，是社会发展的动力，它提供的产品和服务构成了现代文明生活的物质基础。另一方面，工业体系是人类社会与自然生态系统相互作用最为强烈的一个子系统，这主要表现为它快速、大量地从自然资源库中提取、消耗各种可再生和不可再生原料；在生产各种产品提供各种服务的过