

PEARSON
Prentice
Hall

INDUSTRIAL ECOLOGY

Second Edition

T. E. Graedel

著

B. R. Allenby

施涵

译

产业生态学

第2版



清华大学出版社



INDUSTRIAL ECOLOGY

Second Edition

产业生态学

第2版

T. E. Graedel	著
B. R. Allenby	施涵 译

清华大学出版社
北京

Simplified Chinese edition copyright © 2003 by **PEARSON EDUCATION ASIA LIMITED and TSINGHUA UNIVERSITY PRESS.**

Original English language title from Proprietor's edition of the Work.

Original English language title: Industrial Ecology, Second Edition by T. E. Graedel, B. R. Allenby,

Copyright © 2003.

EISBN: 0-13-046713-8

All Rights Reserved.

Published by arrangement with the original publisher, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall.

This edition is authorized for sale only in the People's Republic of China (excluding the Special Administrative Region of Hong Kong and Macao).

本书中文简体翻译版由培生教育出版集团授权给清华大学出版社在中国境内(不包括中国香港、澳门特别行政区)出版发行。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2003-5420

本书封面贴有 Pearson Education(培生教育出版集团)激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

产业生态学(第2版)/格雷德尔(T. E. Graedel),艾伦比(B. R. Allenby)著;施涵译. --北京:清华大学出版社,2003

书名原文: Industrial Ecology

ISBN 7-302-07086-5

I. 产… II. ①格… ②艾… ③施… III. 产业—生态学 IV. ①Q149②F062.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 071791 号

出 版 者: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 客 户 服 务: 010-62776969

责任编辑: 柳 萍

印 刷 者: 清华大学印刷厂

装 订 者: 三河市印务有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 180×230 印 张: 23 字 数: 457 千字

版 次: 2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-07086-5/X·54

印 数: 1~3000

定 价: 38.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

中文版序言

中国和其他东亚国家是实施产业生态学最为理想的场所。该地区的人口密度为世界之最,产业基础设施正在得到迅速更新和发展,在这里探索清洁发展的道路具有巨大的潜力。反之,如果东亚地区在当前的快速发展过程中忽视产业生态学原则,那么也面临着导致长期环境破坏的巨大风险。中国及其邻国能否正确地选择未来的产业发展道路,不仅对该地区自身,而且对全世界都具有重大影响。

系统思想是产业生态学的核心。无论如何改进一款汽车的环境性能,都无法从根本上消除生产 5 亿辆这种汽车以及这些车上路行驶所造成的社会影响和环境影响。全世界正在努力探寻可持续发展的道路,因此系统方法变得越来越重要。产业生态学家及其所服务的社会面临着从经济、技术和社会诸方面实现可持续发展的挑战。

从经济、环境和社会各个角度来看,我们地球的未来都取决于快速工业化国家能在多大程度上接受产业生态学,遵循它的理论和应用它的工具。我们衷心希望本书中文版的出版能够极大地促进把这种良好的愿望变成美好的现实。

T. E. Graedel

B. R. Allenby

2003 年 9 月 9 日

译者序

1995年本书第1版出版时,产业生态学尚处在学科发展的最初阶段。本书全面、系统地勾画了产业生态学的总体框架和重点内容,极大地促进了其理论研究和实践应用。同时,作为第一本高等院校的专门教材,本书为培养产业生态学的新鲜血液起到了无可替代的作用。20世纪90年代以来,国内学者和政府决策人员逐渐认识到传统的污染末端治理方法无法从根本上解决我国的环境污染问题,迫切希望找到一条经济与环境更加协调发展的道路。鉴于本书对指导我国经济的可持续发展具有重要的理论价值与实践意义,国内有学者曾经多次努力,希望能够翻译出版这本经典著作,但因版权等原因,始终未能付诸实施。

2002年春季,我在美国耶鲁大学森林与环境学院进行产业生态学合作研究。当时,作为耶鲁大学产业生态学中心主任的 Thomas Graedel 教授正在修改完善《产业生态学》,准备该书第2版的出版。鉴于产业生态学在迅速工业化的东亚地区所具有的巨大应用前景,耶鲁大学在美国亨利·卢斯基金会的资助下,决定将本书翻译成中文,作为大学教材出版,以促进这门新兴学科在中国,特别是在中国高等院校的推广应用,来帮助培养中国新一代产业生态学的研究者和实践者。在耶鲁大学研究期间,我有机会与本书作者 Thomas Graedel 教授、Marian Chertow 教授和《产业生态学杂志》(Journal of Industrial Ecology)主编 Reid Lifset 等人进行了广泛的学术交流,并荣幸地接受了翻译本书的重任。坦率地讲,当时我并没有充分意识到在后来近两年的翻译过程中所遇到的诸多困难和挑战。

产业生态学作为一门新兴学科,在我国的发展历史更为短暂。1996年联合国环境规划署的《产业与环境》杂志中文版首次向中国读者介绍了工业生态学的概念和方法。而国内学者发表的关于工业生态学(或产业生态学)的文章主要是在2000年后才迅速增多。由于产业生态学研究在我国刚刚起步,对很多基本概念的界定和应用也存在一定程度的混乱,因此我在本书翻译过程中花费了大量的时间和精力,力求更加科学、统一地翻译相关的主要概念,“industrial ecology”概念本身就是一个最好的例子。

很多读者可能要问,为什么本书将“industrial ecology”译为“产业生态学”,而不是目前国内更通用的“工业生态学”?的确,“industry”这个词既可以译为“工业”(比如“Indus-

trial Revolution”译为“工业革命”),也可以译成“产业”(比如“tertiary industry”和“industrial policy”就译为“第三产业”和“产业政策”)。我之所以决定将“industrial ecology”翻译成“产业生态学”,主要是基于以下几方面的考虑。

首先,我们有必要分析“工业”和“产业”在中文定义上的差别。根据国家统计局于2003年5月14日印发的《三次产业划分规定》,三次产业划分范围如下:①第一产业是指农、林、牧、渔业;②第二产业是指采矿业,制造业,电力、燃气及水的生产和供应业,建筑业;③第三产业是指除第一、第二产业以外的其他行业,包括:交通运输、仓储和邮政业,信息传输、计算机服务和软件业,批发和零售业,住宿和餐饮业,金融业,房地产业,租赁和商务服务业,水利、环境和公共设施管理业,居民服务和其他服务业等。按照我国现行的国民经济行业分类标准,工业主要包括第二产业中的采矿业、制造业和电力、燃气及水的生产和供应业。换言之,第二产业主要包括通常意义上的工业和建筑业,也就是说,产业的外延远远大于工业的外延。

其次,作者在本书第2版第2章中明确指出:“产业生态学实践者界定的产业(industry)的外延非常广泛,涵盖了人类的各种活动,包括采掘业、制造业、农业、建筑业、交通运输业、能源生产和使用业、消费者和服务提供商对产品的使用以及废物处置等活动。产业生态学的研究范围不仅仅局限在一个工厂的围墙之内,而是扩展到人类生存和活动对地球造成的各种影响。因此,产业生态学研究包括社会对所有资源的利用。”与第1版相比,本书第2版最重要的改进之一就是从原来主要集中于制造业领域的讨论,扩展到涵盖人类各种经济活动,特别是增加了对服务业和人类消费领域的探讨。产业生态学的概念比工业生态学有更加广泛的外延,与本书涉及的范围更加一致。

第三,从学科应用范围上讲,产业生态学比工业生态学能更合理地用来指导农业、建筑业和服务业等领域的可持续发展。我国现阶段大力推进的循环经济,在相当程度上体现为加强生产废物和消费废物的再使用与再循环,其所依靠的环境服务和公共设施管理均属于服务业范围。但是,我国服务业的发展水平目前还很低,服务业对国民经济的贡献还没有达到发展中国家的平均水平。根据经济发展的一般规律,我国服务业将在较长时期内经历大幅度的发展。一方面,服务业的发展能够促进服务消费替代产品消费,从而实现我国经济的非物质化;另一方面,服务业本身也产生巨大的环境影响。因此,我国服务业的可持续发展迫切需要产业生态学的理论指导。另外,我国自20世纪70年代末起开始生态农业的实践,生态农业无论从理论还是实践,都可以看作是产业生态学的一个重要应用范例。但令人遗憾的是,我国生态农业的研究还没有上升到应有的理论高度。本书探讨的一些产业生态学的概念和方法无疑将有助于指导我国生态农业实践的进一步发展。

综上,经过反复斟酌以及与一些环境和经济学者开展深入讨论,我最终决定把“industrial ecology”译成“产业生态学”。同样,“industrial symbiosis”和“eco-industrial

park”也相应地译为“产业共生”和“生态产业园”。

在本书的翻译过程中,与 Thomas Graedel 教授就本书的一些关键概念和内容所进行的直接、深入的讨论,使我受益匪浅。与他的直接交流不仅帮助我正确地把握了本书中一些关键而又较难理解的概念,并且使我在翻译过程中发现并纠正了本书英文版第 2 版中尚存的一些内容和印刷方面的错误。

在本书的翻译过程中,我还与国内该领域的很多专家就其中一些概念进行过多种形式的探讨,得到了很多有益的意见和建议。在此,我特别感谢陆钟武院士、钱易院士以及席德立、陈吉宁、孟昭利、马驰、诸大建、杨建新、王如松、欧阳志云、张天柱和石磊等专家教授。另外,仲平、张龙江、辛刚、尹淑坤、郑铁丽、江霞、艾红和刘燕等也为本书的翻译录入和图文校对做了大量和细致的工作。我还要特别感谢清华大学出版社的柳萍女士对本书所做的认真、细致的编辑。如果没有上述指导和帮助,我很难想象能够完成对这样一本内容广泛、横跨自然科学和社会科学的著作的翻译。当然,译文中难免出现辞不达意之处,也难免存在缺点和错误。我真诚地欢迎各位读者不吝指正,以便本书再次印刷时得到修改和完善。

本书的大量翻译工作是在 2003 年 SARS 疫情大规模爆发期间完成的。面对空旷的街道和焦虑不安的人们,不胜感慨。老子曰:人法地,天法道,道法自然。经历了 SARS 以及日渐频繁的自然和人为灾害,我们应该更清楚地意识到:唯有与自然和谐相处,经济和社会共生双赢,人类才能最终实现自身的可持续发展。而达到人与自然的和谐发展,正是产业生态学的根本目标。

近年来,在我国越来越多的地区兴起了发展循环经济和建设生态产业园的热潮,不仅得到了广大环保工作者的积极响应和大力推进,一些经济决策者也对此表现出日渐浓厚的兴趣。而现实情况是,无论在产业生态学的理论基础还是实践方面,国内所做的工作都还十分有限,大大落后于欧美和日本。我衷心希望本书的翻译出版能够为我国实现新型工业化这一宏伟而富有挑战性的目标发挥重要的作用,同时也为我国高等院校的工程、环境学科,甚至工商管理等学科的教学提供一本优秀的教科书。

施 涵

2003 年 11 月 7 日于耶鲁大学

前言

很久以来,一直盛行着这样一种观点:工业发展与环境保护无法兼得。我们并不清楚这种观点过去是否成立,但是至少现在肯定是不正确的。一些高瞻远瞩的政府和企业已经认识到,若要使地球上人人都能享有更好的生活质量,人类必然还要更多地开展工业活动,更多地依靠新技术,以及更多地依赖技术和社会的相互作用,而不是相反;要实现可持续发展,就要求人们进一步关注产业和环境的相互作用。只有政府、企业和公众都能深刻地认识到这一点,才能保证那些以环境友好的方式开展工业活动的企业不仅能够避免环境问题,而且能从这种远见中获益。

企业界的参与对于在全球范围内实现可持续发展起着十分关键的作用。科罗拉多大学的 Robert Sievers 指出,政府面对很多亟待处理的任務,例如实现经济的平稳发展,满足不断增长的人口需要,保持国家政治稳定,实现计划经济向市场经济的过渡等,因此很多政府只能集中解决这些眼前的事务。与此同时,企业的活动越来越国际化,计划的时间跨度也越来越长,企业的生存和发展越发依赖于相对稳定的全球经济环境,以及对不同文化和人群需求的满足程度。是企业而不是政府来选择、开发、实施和认知技术,所以负责任的企业将成为全球从不可持续发展向可持续发展转变的中坚力量。但是,企业需要在政府和非政府组织的支持下,建立一个广泛而深入的概念框架和方法体系,以应对产业与环境的复杂关系。

在考察产业与环境的相互关系时,通常有三种时间尺度。第一种是过去,主要关心如何修复由于过去不恰当处置工业废物所造成的危害。第二种时间尺度是现在,主要表现在生产过程中对遵守环境法规的要求,避免过去一些明显的错误,并负责地开展生产和经营。相应的解决方法强调废物减量化,避免使用已知的有害物质,采用“末端”治理措施控制废水、废气和固体废物的排放。企业的环境和职业安全管理人员以及生产管理人员,常常有效地对生产过程开展从细小到中等程度的改进。在上述两种时间尺度上,生产过程和产品设计人员基本不发挥作用。第三种时间尺度着眼于未来。现在设计开发的产品、过程和服务将很大程度上决定未来几十年中产业和环境的相互关系,所以过程和产品设计师在很大程度上掌握着未来产业与环境的相互关系,而且他们中的绝大多数愿意将环境因素纳入他们日常工作的考虑中。

然而困难的是,目前的过程和产品设计人员并不能获得这样做所需的知识和技能。他们接受过的高等教育和职业培训没有提供这种知识,就连他们目前从事的工作也不能帮助他们改变这种状况。我们出版本书的主要目的就是帮助现在和未来的学生与技术人员解决这个难题。此外,我们还力争使本书成为现有的关于政策、商业、环境科学、法律等相关专业教材的补充,因为让这些专业的学生和技术人员更好地认识到技术既是产生环境问题的原因,又是解决环境问题的途径,同样是十分重要的。

产业生态学,正如我们在本书第2章将要讨论的,是一种考察经济和环境相互作用的现代科学。根据产业生态学在制造业应用的经验,需要了解产业活动、环境过程、社会关系等一系列学科的内容。我们还力图使本书对具有工业、环境和社会科学等专业背景的人士以及与此些学科相关的人员均有所帮助。本书很多章节讨论一般性的产业活动及其环境影响,尤其是长期和大范围的环境影响,因为短期和局部的影响一般都能够得到较好的认识和管理。从根本上说,产业生态学是实现环境目标的途径,具体方法的选择必须因地制宜。

本书分为5个部分。第1部分,对产业生态学概念以及本书采用的方法加以介绍。第2部分“物理、生物和社会理论框架”描述了产业生态学所依存的大背景以及物理、生物和社会等领域产生的机会和制约因素。第3部分“面向环境的设计和生命周期评价”,重点讨论产品、过程和服务设计人员所关心的问题:能源、材料、产品运输和使用、使用后处置。生命周期评价的概念也在这一部分介绍。第4部分“企业层面的产业生态学”,重点探讨产业生态学在企业环境中的实际应用。第5部分“系统层面的产业生态学”,讨论了比产品更广泛的问题,包括产业生态系统、代谢与资源分析、模型和情景预测以及地球系统工程与管理。

我们有意识地把理论概念和实际应用放在一起介绍。虽然把两者分开来可以方便写作或者阅读,但是我们认为那样处理效果并不好。产业生态学的核心是技术和社会的结合,而这种结合涉及很多方面并产生多种影响。产业生态学家需要了解企业和社会的相互关系,需要认识产业活动和环境的相互作用。只有这样,我们才能提供一个更好地认识产业生态学目标和方法的逻辑框架。

我们对本书第1版所受到的欢迎程度感到惊喜。1995年本书第1版出版时,产业生态学还处在早期发展阶段,正在探索各种定义、方法和工具,我们当时填补这种空白的努力无疑是很初步的。全世界有几千名学生和专业人员使用了本书。日本国立环境研究所的 Sukeniro Gotoh 将本书第1版翻译成了日文。还有几千名学生和专业人员使用了我们后来出版的另外一些书:1995年出版的《面向环境的设计》(Design for Environment)、1998年出版的《产业生态学和汽车》(Industrial Ecology and the Automobile)、1998年出版的《简化生命周期评价》(Streamlined Life-Cycle Assessment)和1999年出版的《产业生态学——政策框架与实施》(Industrial Ecology: Policy Framework and Implementation)。

这些著作均由 Prentice Hall 出版社出版。在过去的几年里,在产业生态学领域出现了多种出版物,其中包括《产业生态学杂志》(Journal of Industrial Ecology),并且成立了国际产业生态学学会(International Society of Industrial Ecology)。产业生态学的生命力和持久性越来越无可置疑。

随着产业生态学的不断发展,十年前的一些初步想法逐渐变得成熟,解决技术和环境相互关系的新方法不断涌现。相应地,我们在本书第 2 版中增加了相当的篇幅讨论第 1 版未涉及的内容,包括生态学相似性、定量指标和定性指标、服务业、产业共生、系统分析、情景分析等。在一本成熟学科的教科书中,内容的增添通常是对很多人研究成果的综合。而产业生态学目前还只是一门新兴学科,实践者还比较少,增加的这些内容描述了我们对于一些还没有深入解决、但呈现出勃勃生机的领域所做的努力和探索。这些新领域似乎正在将产业生态学从一个集中讨论产品设计的专门学科,扩展成一门定义、评价和实施可持续发展方法的学科。在这一过程中,产业生态学与越来越多的学科发生联系。

我们对所有为本书第 2 版的编写提供帮助的人表示感谢。M. Bertram、R. Gorden、R. Lifset、H. Rechberger 及 S. Spatari 等人对本书进行了评阅,他们的意见对提高本书的质量起了很大的作用。我们感谢 Volvo 汽车公司的 I. Horkeby 和 Pratt & Whitney 公司的 R. Tierney 对本书插图和案例使用提供的帮助。我们还对 Prentice Hall 出版社的员工,特别是 Marcia Horton 和 Laura Fischer 表示感谢,他们为使这本书变得更有吸引力做出了巨大努力。最后,我们感谢 AT&T 公司、AT&T 和朗讯基金会、美国国家自然科学基金会以及美国工程院对于产业生态学研究的支持。他们的支持和帮助对于产业生态学这个新兴学科的发展是不可或缺的。

T. E. Graedel

B. R. Allenby

目 录

前言	19
----------	----

第 1 部分 技术与社会相关领域介绍

1 人类与环境	3
1.1 公共物品的悲剧	3
1.2 主方程	6
1.3 大目标	9
1.3.1 大目标与环境科学的联系	10
1.3.2 确定相关的社会活动	12
1.3.3 工业化国家应采取的行动	14
1.4 应对挑战	15
深入阅读材料	16
习题	16
2 产业生态学概念	18
2.1 从关注眼前到放眼未来	18
2.2 将产业活动与环境科学和社会科学相关联	20
2.3 产业生态学的关键问题	21
2.4 本书概览	22
深入阅读材料	23
习题	24
3 技术变革及其带来的风险	25
3.1 技术演变的历史模式	25

3.2 认识风险的方法	28
3.3 风险评价	32
3.4 风险沟通	34
3.5 风险管理	34
深入阅读材料.....	36
习题.....	37

第 2 部分 物理、生物和社会理论框架

4 生态学与技术的相关性.....	41
4.1 相似性考虑	41
4.2 生物和产业组织	41
4.3 食物链:营养物质和能量的传输网络.....	44
4.4 种群生态学	48
4.5 具体联系的分类	50
4.6 生态学方法的用途	53
深入阅读材料.....	53
习题.....	54
5 资源的状况	55
5.1 引言	55
5.2 资源的耗竭时间和供应短缺	55
5.3 共生资源	57
5.4 能源	58
5.4.1 消耗能源获取矿产资源.....	58
5.4.2 能源.....	58
5.4.3 能源状况.....	59
5.5 受能源制约的矿产资源	60
5.6 受地理位置制约的资源	61
5.7 受环境因素制约的资源	62
5.8 累积供应曲线	63
5.9 水资源	64
5.10 小结.....	65
深入阅读材料.....	65

习题	65
6 社会和文化	67
6.1 社会、文化和产业生态学	67
6.2 文化建构与时间跨度	68
6.3 社会背景下的公司	70
6.4 环保主义、技术和社会	70
深入阅读材料	73
习题	73
7 政府、法律和经济学	75
7.1 国家政府的结构和运行	75
7.2 国际环境治理	77
7.3 法律体系与产业生态学	79
7.3.1 基本的法律问题	79
7.3.2 与产业生态学相关的法律案例研究	81
7.4 经济学与产业生态学	82
7.4.1 估值	83
7.4.2 折现率	84
7.4.3 费用-效益分析	84
7.4.4 绿色会计	84
7.4.5 可替代性与互补性	85
7.4.6 外部性	86
7.5 金融、资本与投资	86
深入阅读材料	88
习题	89

第3部分 面向环境的设计和生命周期评价

8 工业产品设计与开发	93
8.1 产品设计的挑战	93
8.2 产品设计人员的概念性工具	94
8.2.1 Pugh选择矩阵	94
8.2.2 质量屋	95

8.3 面向 X 的设计	96
8.4 产品设计小组	98
8.5 产品开发过程	99
深入阅读材料	101
习题	102
9 过程设计和运行	103
9.1 过程设计的挑战	103
9.2 污染预防	103
9.3 水资源供应的挑战	107
9.4 过程的生命周期	108
9.4.1 资源供应	108
9.4.2 过程实施	109
9.4.3 主体过程运行	109
9.4.4 辅助过程运行	109
9.4.5 翻新、再循环和处置	110
9.5 过程分析方法	110
9.5.1 主体过程	111
9.5.2 过程设备	111
9.5.3 辅助过程	112
9.6 过程设计和运行指南	112
9.7 对公司的影响	113
深入阅读材料	113
习题	114
10 材料选择	115
10.1 材料选择需考虑的因素	115
10.2 材料与环境危害	115
10.3 材料的来源和主要用途	118
10.3.1 绝对丰度	118
10.3.2 材料开采和加工的影响	118
10.3.3 消费后再生材料的可获得性和适用性	119
10.4 材料替代	122
10.5 材料选择的多重因素	124

10.6	非物质化	130
10.7	材料选择指南	131
	深入阅读材料	131
	习题	132
11	提高能源效率的设计	133
11.1	能源与工业	133
11.2	基础加工业	134
11.3	中间加工业	136
11.4	能源使用分析	136
11.5	减少能源使用的一般方法	139
11.5.1	暖通空调	139
11.5.2	照明	139
11.5.3	现场能源生产	140
11.5.4	能源管理	142
11.6	小结	142
	深入阅读材料	143
	习题	143
12	产品的交付	144
12.1	引言	144
12.2	普通包装	144
12.3	对固体废物的考虑	146
12.4	包装的液体和气体排放因素	148
12.5	运输和安装	149
12.6	讨论和小结	150
	深入阅读材料	151
	习题	151
13	产品使用过程中的环境影响	152
13.1	引言	152
13.2	产品使用过程中产生的固体废物	152
13.3	产品使用过程中产生的液体废物	153
13.4	产品使用过程中产生的气体废物	153

13.5	产品使用过程中的能耗	154
13.6	耗散性产品	154
13.7	无意的耗散性产品	156
13.8	面向可维护性的设计	156
	深入阅读材料	158
	习题	158
14	面向产品生命结束的设计	160
14.1	引言	160
14.2	产品生命结束的一般考虑	164
14.3	再制造	166
14.4	再循环	167
14.4.1	金属的再循环	167
14.4.2	塑料的再循环	167
14.4.3	林产品的再循环	169
14.5	零部件联结	169
14.6	面向再循环的规划	170
14.6.1	面向拆卸的设计	170
14.6.2	应急产品的设计	172
14.6.3	再循环性能的优先考虑	173
	深入阅读材料	174
	习题	175
15	生命周期评价介绍	176
15.1	工业产品的生命周期	176
15.2	生命周期评价框架	178
15.3	确定评价目的与范围	180
15.4	定义边界	181
15.4.1	生命周期阶段的边界	181
15.4.2	边界的详尽程度	181
15.4.3	自然生态系统边界	182
15.4.4	时空边界	184
15.4.5	边界选择	184
15.5	数据收集方法	184

深入阅读材料·····	188
习题·····	188
16 生命周期影响评价与解释阶段·····	189
16.1 LCA 影响分析 ·····	189
16.2 工业优先排序:IVL/Volvo 汽车公司环境优先策略系统 ·····	190
16.3 生命周期评价解释分析·····	196
16.3.1 明确与隐含的改进建议·····	196
16.3.2 优先排序表·····	198
16.4 优先排序图·····	200
16.4.1 行动-实施者优先排序图 ·····	200
16.4.2 生命阶段优先排序图·····	201
16.5 讨论·····	202
深入阅读材料·····	203
习题·····	204
17 简化生命周期评价·····	205
17.1 评价的连续体系·····	205
17.2 保持前瞻性·····	206
17.3 简化生命周期评价矩阵·····	207
17.4 靶图·····	209
17.5 对过去和现在普通汽车的评价·····	210
17.6 SLCA 的优缺点 ·····	216
17.7 讨论·····	217
深入阅读材料·····	217
习题·····	218
18 产业生态学企业工具箱的应用·····	219
18.1 产业环境管理的阶段与范围·····	219
18.2 第1阶段——遵守环保法规·····	220
18.3 第2阶段——污染预防 ·····	220
18.4 第3阶段——面向环境的设计·····	220
18.5 产品开发过程中的环境机会·····	221
18.6 产业生态学实践者和工具箱·····	225