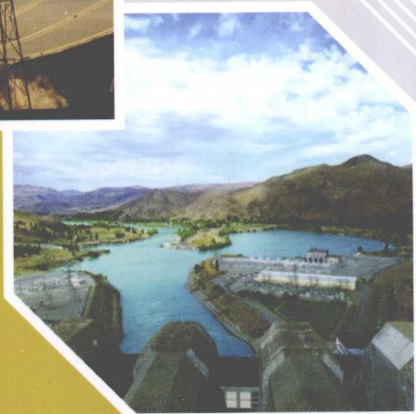
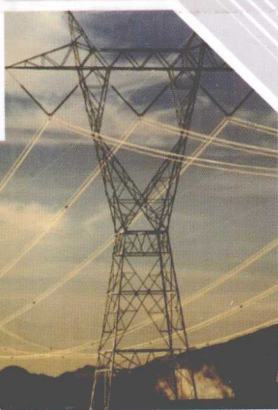




Regional Eco-Industrial Chain
Management Theory and Applications

区域生态产业链 管理理论与应用

王兆华 著



科学出版社
www.sciencep.com

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

区域生态产业链 管理理论与应用

Regional Eco-Industrial Chain Management Theory and Applications

王兆华 著

国家自然科学基金研究成果（项目批准号：70773008，70403008）

国家哲学社会科学基金研究成果（项目批准号：08CJY023）

教育部人文社会学科基金项目研究成果（项目批准号：05JC630065）

北京市哲学社会科学基金项目研究成果（项目批准号：06BaJG038）

北京市自然科学基金项目研究成果（项目批准号：9092015）

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书运用工业生态学理论、循环经济理论、产业链理论、博弈论等对区域生态产业链管理理论与实践进行了系统研究。首先对该领域现有成果进行了系统梳理和评析,从而构建本书的理论基础;在此基础上,进行了区域生态产业链发展的国际比较研究,从而为整体研究提供坚实的实证支持。针对国内外相关研究的薄弱环节,本书分别从区域生态产业链的生成机理、结构模式、资源循环与管理三个维度开展专题研究,在实证研究和规范研究的基础上,针对生态产业链的安全性和稳定性问题开展了相应的对策研究。最后,在对理论分析的基础上,本书以老工业基地、温州产业集群、天津经济技术开发区、贵阳市典型产业为例进行了应用研究,以期为我国产业可持续发展提供理论参考。

本书对于国内从事循环经济、工业生态学及产业生态化管理研究的学者具有重要的理论参考价值,同时由于本书注意理论联系实际,讲解深入浅出,对从事生态工业园开发和建设的单位也具有重要的指导意义。

图书在版编目(CIP)数据

区域生态产业链管理理论与应用/王兆华著. —北京: 科学出版社, 2009
ISBN 978-7-03-026144-1

I. 区… II. 王… III. 区域经济—生态经济学: 产业经济学—经济管理—研究—中国 IV. F127

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 220303 号

责任编辑: 任锋娟 / 责任校对: 王万红

责任印制: 吕春珉 / 封面设计: 王 浩

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>

双 青 印 刷 厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 2 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2010 年 2 月第一次印刷 印张: 15 1/4

印数: 1-2 000 字数: 359 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62135763-8767 (BF08)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

序

全球气候变化是 21 世纪人类面临的最复杂的挑战之一，而造成气候变化的根本原因还在于人类自身的活动，在此活动过程中，“产业”扮演了举足轻重的角色。如何降低“产业”对环境的负面影响，探索一条环境友好的可持续发展道路一直是全球经济学界、管理学界和环境学界共同关心的热点问题。《里约宣言》、《21 世纪议程》、《京都议定书》和《联合国气候变化框架公约》等一系列呼吁环境保护的宣言和宪章相继问世，对实现全球经济与人口、资源、环境的协调发展起到了积极的推进作用。但环境保护并非一蹴而就的，也不是某种宣言或一部宪章就能解决的，它需要人类社会长期不懈的共同努力。在这一背景下，发达国家在生态产业链建设方面的实践性探索对于全球产业发展模式起到了重要的引导性作用，特别是 20 世纪 90 年代以后，生态产业链建设项目如雨后春笋般在世界各地出现，开始成为环境友好型产业发展的新主题，并取得了令人振奋的成就。生态产业链（eco-industrial chain, EIC）是模仿自然生态系统“生产者—消费者—还原者”的食物链关系而形成的产业生态组织形式，像自然生态系统一样，各链接企业之间可以建立共生互利的关系，从而极大提高资源和能源的利用效率并在自然竞争中生存下去，实现可持续发展。对于生态产业链中的企业来说，当副产品、水和能源在整个链条内的生产流程中循环流动时，会增加价值。因此，模仿自然生态系统中的食物链结构，“一种废物可以用作另一种产品或企业生产的原材料”的循环经济观点早已得到各国学者的高度重视。这种“闭环思想”（closed-loop thinking）可以从根本上起到保护资源环境、减少排放和浪费、提高资源和能源使用的效益、降低成本的功效。为此，笔者认为，该书的出版是适时和必要的，对于指导我国工业园区发展生态产业链、推动节能减排具有重要的参考价值。

该书针对我国经济发展过程中面临的资源和环境压力，结合大量鲜活的案例，运用循环经济理论、工业生态学理论和产业链等理论，采用规范研究和实证研究方法对区域内的生态产业链管理问题进行了系统研究，取得了大量有价值的研究结论，为我国产业集聚区探索了一条环境友好型的可持续发展道路。

在该书撰写过程中，作者结合自己长期在该领域的研究体会，付出了较大的努力和心血，力求做到理论性与科学性、规律性和逻辑性、现实性和前瞻性、实用性和可操作性并重。通过阅读本书，相信读者不但会在具体的理论上得到收获，而且在科学精神和科学态度上也会得到启发。纵观该书，有不少颇具启发价值的创新之处，例如：

——模仿自然生态系统中生产者、消费者和分解者，构建了生态产业链结构模型，并从价值链角度揭示了生态产业链中的价值流动特性，在此基础上，基于资源循环和副产品交换的特点，提出依托型共生网络、平等型共生网络、嵌套型共生网络和虚拟型共生网络四种运作模式，并深入剖析了其运作特点、适用条件和运作规律。

——从成本、效益、环境取向和内生动力角度系统揭示区域生态产业链的生成机理，

重点揭示了生态产业链生成的成本传导规律：生态产业链的生成与非合作成本存在正相关关系；企业参与生态产业链能够降低交易成本和获取集群效益；复杂系统结构赋予生态产业链生成的内在动力。

——按照资源梯次流动原理，对区域生态产业链中的资源循环和价值流动进行了分析，运用物质流分析方法和投入产出方法构建生态产业链中资源循环优化模型，并以典型工业园区的产业为例进行了仿真模拟。

——为了提高区域生态产业链的稳定性和安全性，作者在深入分析参与成员投机行为的基础上，揭示了投机行为的存在是生态产业链治理的重要诱因；通过构建生态产业链投机行为博弈模型，揭示投机行为产生的根源；提出四种治理范式，主要包括市场治理、双边治理、三边治理和一体化治理。

总体来说，面对区域生态产业链这一新兴的研究领域，本书的探索无疑是可贵的。然而，随着各国对生态产业链理论分析和实践方面的探索，还有许多问题有待进一步研究。希望能有更多的学者加入到这一研究领域中来，取得更多有价值的成果，共同推动我国区域生态产业链管理理论的不断丰富和在实践上的推广。

中国工程院院士

2009年12月于北京

前 言

面对日益严重的资源和环境约束，传统的“资源—产品—废弃物”线性生产模式已无法维持我国社会经济的长期可持续发展。在这种情况下，按照自然系统的“生产者—消费者—还原者”食物链关系而构建的生态产业链受到各国学者和企业界的普遍关注。在这一背景下，作者结合长期以来从事生态产业链理论和实践的研究积累，借鉴该领域国际范围内的最新研究成果，将“产业发展”与“环境友好”进行有效融合，结合大量的案例，从多个角度对区域生态产业链展开了系统研究，希望这项工作能对丰富我国生态产业链理论有所裨益。

区域生态产业链是工业生态学理论的重要研究领域。20 世纪 90 年代中期以来，发达国家在研究工业发展与环境保护这一矛盾体的过程中，逐渐从系统化、整体化的角度考虑工业污染治理问题，并开始探索生态产业链运作模式。生态产业链就是融合工业生态学理论、循环经济理论、共生理论和产业链理论应运而生的一种促进副产品再循环、再利用的有效组织形式。生态产业链强调将一个生产过程的“副产品”转变为另一生产过程的原材料，同时倡导企业群落中的各个企业共享域内外的资源与设施，目的是使整个工业体系变成各种资源（能源、水和原材料）循环流动的闭环系统，和谐地纳入自然生态系统的物资循环和能量流动的大系统中，逐步实现生态产业链中的利益相关者经济效益的提高，并且在此过程中不仅不以牺牲环境为代价，反而促进相关环境的改善。生态产业链的提出为从根本上解决工业污染问题、促进资源循环和提高效率提供了思路，也引起众多学者的研究兴趣。

本书采用实证研究与规范研究、定量分析与定性分析相结合的研究方法对区域生态产业链进行了系统研究。区域范围的生态产业链所涉及的研究领域较为宽泛，为此，本书主要选择目前广受关注的产业集聚区（工业园区）为对象开展研究。首先，对区域生态产业链相关理论进行了评析，从而构建该问题的理论体系；其次，结合作者近几年来主持的相关研究课题对国内典型的生态产业链试点单位进行了深入、细致的实地调研，在此基础上，进行了生态产业链发展的国际比较研究，为整个研究提供坚实的实证支持；再次，比较研究中揭示出的问题也成为下一步专题研究的切入点。针对国内外相关研究的薄弱环节，分别从生态产业链生成机理、生态产业链结构模式和生态产业链中的资源循环与管理三个维度开展专题研究，并注意各专题间的衔接和关联。在研究过程中，综合运用了工业生态学理论、循环经济理论、产业链理论、交易费用理论和博弈论等理论，并进行规范研究。在实证研究和规范研究的基础上，针对生态产业链的安全性和稳定性问题展开了相应的对策研究，提出了维护生态产业链安全的治理对策。最后，在对理论进行分析的基础上，本书以老工业基地、温州产业集群、天津经济技术开发区和贵阳市典型产业为研究对象，结合其区域特点和典型产业发展态势进行了应用研究，以期对我国产业可持续发展提供决策参考。

本书的研究内容是作者在该领域多年科研探索的总结。值得庆幸的是，本书的出版得到了“国家科学技术学术著作出版基金”的资助，正是由于该基金的资助，本书才能够顺利与读者见面，在此对基金的评审专家和组织单位表示衷心的感谢。

本书在编写过程中参考了大量学者的研究成果，在此向有关作者表示深深的谢意。

区域生态产业链管理属于新兴的研究领域，研究内容非常丰富和广泛，但由于作者自身学识与能力所限，书中的观点和内容难免存在疏漏、不足之处，敬请广大读者批评指正。同时衷心希望能有更多的学者加入到这一研究领域中来，取得更多的创新性研究成果，使我国区域生态产业链管理理论日臻丰富和完善。

王兆华

2010年1月

目 录

第 1 章 区域生态产业链的相关理论进展	1
1.1 工业生态学相关理论的研究进展	1
1.1.1 工业生态学的研究进展	1
1.1.2 生态工业园的研究进展	5
1.2 循环经济理论的研究进展	7
1.2.1 循环经济的本质	7
1.2.2 循环经济的发展原则	8
1.2.3 循环经济与产业结构生态化	10
1.2.4 循环经济理论的研究趋势	12
1.3 工业共生理论的研究进展	13
1.3.1 生物学范畴的共生理论	13
1.3.2 工业生态学与共生理论的融合	15
1.3.3 工业共生研究的新进展	16
1.4 生态产业链的研究进展	18
1.4.1 产业链的研究进展	18
1.4.2 区域生态产业规划的研究进展	20
1.4.3 生态产业链的研究现状	20
第 2 章 区域生态产业链发展的国际比较	22
2.1 典型区域生态产业链案例分析——生态工业园	22
2.1.1 丹麦卡伦堡生态工业园的发展	22
2.1.2 美国生态工业园的发展	25
2.1.3 加拿大生态工业园的发展	27
2.1.4 日本生态工业园的发展	28
2.1.5 中国生态工业园的发展	29
2.2 区域生态产业链发展的政策、法规比较	35
2.2.1 促进生态工业发展的环境立法	36
2.2.2 生态产业链发展中的政府角色定位	37
2.2.3 促进生态产业链发展的环境政策比较	40
2.3 区域生态产业链发展的创新环境及机制比较	42
2.3.1 生态产业链发展中的智力来源	42
2.3.2 文化交流与融通机制	43
2.3.3 生态产业链发展中的创新环境差异	44

2.4 区域生态产业链中共生网络发展的比较	46
2.4.1 工业共生网络形成路径比较	46
2.4.2 工业共生网络中企业合作的影响因素分析	47
2.4.3 工业共生网络中的企业组织模式	48
2.4.4 生态产业链中的共生网络类型	50
第3章 区域生态产业链生成机理研究	54
3.1 区域生态产业链生成的成本推动机理	54
3.1.1 生态产业链生成的成本传导机制	54
3.1.2 追求低生产成本的动力	56
3.1.3 降低交易费用的动机	59
3.2 区域生态产业链生成的效益拉动机理	62
3.2.1 区域生态产业链衍生集群经济效益	62
3.2.2 规模经济与范围经济的牵引效应	64
3.2.3 外部经济的内化效应	65
3.3 区域生态产业链生成的环境取向机理	69
3.3.1 环保法规与政策的压力	69
3.3.2 满足联盟企业的环境标准	70
3.3.3 改善与周边社区的关系	70
3.3.4 提升企业形象与声誉	71
3.4 区域生态产业链形成的内生机理	72
3.4.1 生态产业链的复杂系统运作机理	72
3.4.2 生态产业链的自组织机理	73
3.4.3 生态产业链的协同机理	75
第4章 区域生态产业链结构模型与发展模式	77
4.1 区域生态产业链一般结构模型	77
4.1.1 自然生态系统的生物链结构	77
4.1.2 区域生态产业链结构	78
4.1.3 基于价值链的生态产业链分析	80
4.2 区域生态产业链运作模式研究	81
4.2.1 区域生态产业链运作模式一：依托型共生网络	81
4.2.2 区域生态产业链运作模式二：平等型共生网络	84
4.2.3 区域生态产业链运作模式三：嵌套型共生网络	85
4.2.4 区域生态产业链运作模式四：虚拟型共生网络	87
4.3 区域生态产业链中的资源循环管理	88
4.3.1 区域范围内的工业代谢	88
4.3.2 工业共生网络中的资源循环管理	90
4.3.3 工业共生网络中的副产品交换系统	91

4.3.4 典型案例：天津开发区的生态产业链规划	94
第 5 章 区域生态产业链稳定性研究	109
5.1 区域生态产业链稳定性概述	109
5.1.1 区域生态产业链稳定性的内涵	109
5.1.2 区域生态产业链稳定性的特征	110
5.1.3 区域生态产业链稳定性的结构与功能	111
5.2 区域生态产业链稳定性影响因素	113
5.2.1 “关键种”对生态产业链稳定性的影响	113
5.2.2 产业多样性与生态产业链稳定性的影响	114
5.2.3 影响区域生态产业链稳定性的相关因素	115
5.3 区域生态产业链典型运作模式稳定性分析	116
5.3.1 区域生态产业链的稳定性评价模型与假设	116
5.3.2 平等型共生模式的稳定性分析	118
5.3.3 依托型共生模式的稳定性分析	119
5.3.4 嵌套型共生模式的稳定性分析	122
5.3.5 区域生态产业链中的竞争模式稳定性分析	123
5.3.6 模型分析小结	126
第 6 章 区域生态产业链资源循环与价值优化	127
6.1 区域生态产业系统中物质流分析	127
6.1.1 物质流分析的内涵	127
6.1.2 物质流分析的内容与功能	128
6.1.3 物质流分析的发展与实践	129
6.1.4 投入产出法在物质流分析中的应用	131
6.2 区域生态产业链中物质流投入产出分析模型	132
6.2.1 物质流投入产出矩阵	132
6.2.2 物质流静态投入产出模型	133
6.2.3 物质流动态投入产出模型	143
6.3 资源循环中的动态投入产出预测控制模型	144
6.3.1 资源循环中的动态投入产出预测控制模型	144
6.3.2 线性多变量调节器的设计	146
6.3.3 模型的应用实例	148
6.3.4 模型分析结论	153
第 7 章 区域生态产业链治理研究	155
7.1 区域生态产业链内产业共生网络治理的相关基础	155
7.1.1 从科层治理到网络治理的演变	155
7.1.2 产业共生网络治理的基本特性	157

7.1.3 区域生态产业链内部产业共生网络治理的目标——协调与维护	159
7.2 基于博弈论的区域生态产业链中的合作与投机行为分析	160
7.2.1 区域生态产业链中的合作与投机行为表现	160
7.2.2 区域生态产业链中的合作与投机行为的博弈模型分析	163
7.2.3 相关分析结论	168
7.3 区域生态产业链内部产业共生网络治理范式	170
7.3.1 生态产业链内部产业共生网络市场治理范式	171
7.3.2 生态产业链内部产业共生网络双边治理范式	172
7.3.3 生态产业链内部产业共生网络三边治理范式	173
7.3.4 生态产业链内部产业共生网络一体化治理范式	174
第8章 区域生态产业链理论的应用	176
8.1 老工业基地区域生态产业链规划	176
8.1.1 老工业基地资源与环境现状	176
8.1.2 老工业基地区域生态产业链发展模式	178
8.1.3 老工业基地化工生态链发展模式	186
8.1.4 老工业基地煤炭生态产业链发展模式	190
8.1.5 老工业基地石油生态产业链条发展模式	196
8.1.6 老工业基地装备制造业可持续发展	200
8.2 浙江温州产业集聚区生态产业链发展模式	203
8.2.1 温州市产业发展现状	203
8.2.2 温州服装生态产业链发展模式	206
8.2.3 温州鞋革生态产业链发展模式	207
8.2.4 温州小家电集聚区生态产业链发展模式	208
8.3 贵阳市典型生态产业链发展模式	210
8.3.1 贵阳市传统工业发展模式面临的挑战	210
8.3.2 贵阳市磷生态产业链结构及发展模式	213
8.3.3 贵阳市铝生态产业链结构及发展模式	218
8.3.4 贵阳市中草药生态产业链结构及发展模式	221
第9章 研究结论及后续研究建议	224
9.1 研究结论	224
9.2 后续研究建议	225
参考文献	227
后记	232

第 1 章 区域生态产业链的相关理论进展

区域生态产业链作为新兴的多学科交叉研究领域，所涉及的理论非常广泛，为了较为全面地把握其研究进展，本章主要对工业生态学理论、循环经济理论、清洁生产理论、工业共生理论和产业链理论等研究进展进行梳理，以期为区域生态产业链的研究构建理论基石。

1.1 工业生态学相关理论的研究进展

1.1.1 工业生态学的研究进展

1. 工业生态学定义的提出

工业生态思想的产生已有较长的历史，但真正作为一个概念提出并为人们所接受还是近期的事情。1989 年 9 月，美国通用汽车公司研究部副总裁 Robert Frosch 和负责发动机研究的 Nicolas Gallopoulos 在《科学美国人》杂志上发表的题为《可持续工业发展战略》的文章中正式提出了工业生态学的概念，两位作者在该文中指出：“传统工业活动中，各个制造工艺摄入原材料并生产出要销售的产品和要处理的废物的简单工业模式应该转变为一种更加一体化的模式，那就是工业生态系统。在这样的一种系统中，能量和物质的消耗是优化的，而且一种过程的排出物，无论是石油炼制过程的催化剂、发电过程产生飞灰和底灰，还是消费产品后的废塑料容器，都可以用作另一种过程的原材料。”在福布斯和加罗布劳斯看来，工业生产中没有绝对的废物，都是资源，工业生产和环境保护并不总是相互对立的，通过适当的处理二者完全可以实现统一。

自工业生态学的概念提出以来，曾有许多学者对其作过描述，研究较为活跃的时期主要集中在 20 世纪 90 年代，代表性观点如表 1.1 所示。

表 1.1 工业生态学的定义

提 出 人	提 出 时 间	定 义 内 容
Allenby	1991	以系统的观点来看待人类经济活动及其与基本的生物、化学和物理系统的相互关系，从而实现和维持国家的可持续发展
Frosch	1992	研究工业和生态系统内部以及二者之间的有关物理、化学和生物的相互作用及关系的 一门科学
Patel	1992	各种工业活动、产品以及环境之间的关系的总和或模式
Jelinski, Graedel, Laudise, McCall, Patel	1992	进行产品和加工过程的工业设计以及执行可持续制造策略的一种新途径，它寻求整个材料循环过程中从原材料到加工完成后的材料、产品、废物以及最终处理物的最优化

续表

提 出 人	提 出 时 间	定 义 内 容
Hileman	1992	研究人类以何种方式来持续地利用地球资源从而保护人类健康、自然系统的协调发展以及植物、动物和人类后代健康发展的一门科学
Tibbs	1992	对工业基础设施的设计过程,好像是一系列与自然生态系统相互吻合的人造系统 工业生态学采用自然环境模式来解决环境问题,并创立了一种新的范式把工业系统看作一个发展过程
Lowe	1993	对制造和服务系统(实际上也是一种自然系统)的认识过程 它通过与当地的和区域的生态系统及生物圈保持密切的联系,从而实现把工业系统变为一种其内部所有材料基本上都能进行再循环的闭环系统
Hawken	1993	一种设计工业基础设施的大规模、一体化管理工具,好像是一系列与自然系统相互吻合的人造生态系统
White	1994	研究工业和消费者活动中材料和能源的流动和这些流动对环境产生的效应以及经济、政治、制度和社会因素在资源的流动、使用 and 变化中所产生的影响
Keoleian 和 Menerey	1994	从当地的、区域的、国家的和全球的层次上研究企业之间的相互关系以及它们的产品和加工过程
Lyle	1994	对工业生产和消费的结构、功能和空间分布的研究过程,目的是为确保它们的可持续性而制定原则和策略
Garner 和 Keoleian	1995	研究工业和自然系统相似性的一门科学,以促进工业系统的发展为目的,从而使之具有自然系统的特性
Côté Raymond	1995	研究工业发展的一门科学,它通过强调自然生态系统,强调材料的循环和生产者、消费者、清理者和分解者的网络化,并鼓励对资源的保护和废物的预防,从而提高企业的资源效率、竞争力和可持续性
Ehrenfeld	1997	一种强大的分析框架,它主要用来识别和列举生产者和消费者网络内无数的材料和产品流动状况
Sagar A.D.和 Frosch R.A.	1997	倾向于从系统一体化的角度评价工业和环境的关系,将工业系统抽象为产品和废物的制造者,并评价生产者、消费者以及其他一些团体与自然界的联系
Shireman, Global Future	1998	促进创新、优化绩效和降低经济、社会和环境成本的一套管理、措施和政策系统

通过对这些定义进行分析,可以将其归为四类:

1) 将工业生态学看作人类经济活动和它们相互关系的总和 (Frosch; Patel; Keoleian, Menerey; Lyle, Allenby)。

2) 将工业生态学看作工业系统和自然系统的类似物 (Sagar; Hileman; Tibbs; Chiddick; Hawken; Garner, Keoleian)。

3) 将工业生态学视为循环、流动和网络化的分析框架 (Jelinski, Graedel; Lowe; Ehrenfeld; White)。

4) 将工业生态学看作产品和制造过程设计以及提高效率的一种途径 (Raymond P. Côté; Shireman)。

由于工业生态学内容非常丰富,简短的几句话很难将其描述完整,因此,迄今为止,在国际范围内还未形成一个统一的工业生态学定义。尽管如此,美国 Indigo 发展研究所的 Ernest Lowe 教授在总结各位学者观点的基础上,对工业生态学进行了比较全面的描

述,并得到了广大学者的认可。他认为:

1) 工业生态学是起源于系统科学并用于分析和综合工业发展的一种系统方法,这种系统方法主要是研究工业系统和生态系统的相互作用。

2) 工业生态学寻求对工业活动的重新设计,从而减少人类活动对生态环境的影响,以使之控制在自然系统可以承受的水平之内。

3) 工业生态学是一门多学科交叉的科学,它将多个领域的规划和研究联系在一起,包括生态学、工程学、经济学、企业管理、公共管理和法律等。

4) 工业生态学从经济学的角度研究材料和能源流动,范围涉及从一个工业或公共设施部门到整个地球。它寻求策略来提高资源流动的效率和减少对环境的影响(一般称其为“工业新陈代谢”)。

5) 工业生态学试图将人类的生产和消费活动由线性的、不经济的传统模式转变为一个闭环系统。在这个系统中,工业部门、政府机关和消费者的废弃物将最大可能地被重新利用、再循环和再制造。

6) 工业生态学使人们在进行短期变革时考虑到了其长期可能产生的影响,同样,它也使人们在进行小范围的区域决策时考虑到了其对更广阔的区域和全球的影响。

7) 工业生态学是平衡环境保护与经济和企业关系的一种可行的方法,这种平衡过程必须是动态的,并且在人类的工业活动对自然环境施加的影响以及自然系统产生反应方面,二者应是互动的。

8) 工业生态学是“可持续科学”的重要组成部分,广义而言,它起到了设计工业活动路径的作用。它为协调环境和技术领域的公共政策设计提供了客观基础。

2. 工业系统对自然生态系统的模仿

工业生态学概念的提出,吸引了众多学者的普遍关注,在世界范围内也引起了较大轰动,人们开始用“生态”的观点和标准来审视传统工业生产过程,并模仿自然生态系统来规划人类的工业生产活动。但与已经经历了近几十亿年演化与发展的自然生态系统相比,人类的工业生产活动还很难称为“生态系统”,还仅仅处于简单模仿的初级阶段。

瑞士著名工业生态学专栏记者 Erkman (1997) 对工业生态学进行了有益而简洁的评价,认为这是一个比污染控制和清洁生产都有价值的概念——实际上,工业生态学包含了这两个概念并将它们结合起来形成了一种新的实践活动。Erkman 认为工业生态学是工业系统和生态系统沟通的桥梁,它是纠正原来二者“相互隔绝”现象的一种有效手段。同时,Erkman 认为尽管工业生态学具有很多优点,但以此为基础建立的工业生态系统在模仿自然生态系统消除对环境负面效应方面还存在很多的不足。

Tibbs H.B.C. (1992) 认为工业生态系统是“以对自然生态系统的直接类推为基础的……这使含有可供利用能源和有用材料的东西都不会失去。自然系统倾向于使废物的产生最少化:营养物从一种生物传递给另一种生物;物质和能源不断地循环和转变;在不同的行动者之间既允许合作也允许竞争。工业生态学则是按照自然系统来塑造工业系统,一家企业的产出成为另一家企业的投入,并使每一个过程的效益最大化。这样,可以把若干相互作用的公司和工业视为工业生态系统”。

Raymond (1997) 认为, 与自然生态系统相比, 工业系统更趋于强调企业之间的相对独立和竞争性。企业作为供应和消费链条中的一个组成与自然生态系统中所发生的现象是基本相似的。此外, 工业系统的生产活动是依靠其所处环境中的可利用资源来维持, 这些资源包括土地、建筑物、用于能源供应的碳氢化合物、加工或冷却用水以及供人和设备所需的空气。总之, 各独立企业以及它们的集合体都是系统的一部分, 他们依赖于其他企业并且必须与其他企业合作才能生存下去。从这个意义上, 我们可以将工业生态系统作为自然系统的一部分进行研究, 这样工业系统的生产和消费也就可以作为生态系统中的新陈代谢问题来对待了。

Sagar 和 Frosch (1997) 认为, 工业新陈代谢中的工业生态系统是由一系列在地理上相互分散和联系并不紧密的实体组成, 这种系统设计方法要比面向产品的环境设计方法具有更高的效率。Ayres (1996) 认为工业生态系统可能是由初级材料加工厂、深加工厂或转化厂、制造厂、各种供应商、废物加工厂、次级材料加工厂等组合而成的一个企业群, 或者是由燃料加工厂或甚至废物再循环厂组合而成的一个企业群。较为重要的是, 该系统整体要有一种主要“出口产品”, 而且大多数废物和副产品能在当地利用。

总之, 工业系统有自己的特点, 它无法完全按照自然系统的运作规律来进行, 所谓对自然系统的模仿也仅是初级和简单的, 刻意追求工业系统与自然系统的等同是不现实的。

3. 工业生态学的研究领域

工业生态学作为一门学术性的学科已将研究的重点主要集中在了经济 and 环境的相互作用关系上, 它主要由两个研究领域构成: 设计的系统 (engineered system) 和社会网络 (social networks), 这两个领域原来通常被限定在制造型企业的范围之内。然而, 当前的工业生态实践和思想已经开始向第三个领域转移, 即社区 (community)。在技术领域, 工业生态学家已对材料的再回收、提炼以及再使用过程中的物理和化学作用进行了研究, 这些研究分别是在单个企业和多家企业组成的网络系统中展开的。通过这些研究, 工业生态学家已经接受了系统设计 (engineering system) 的观点, 为了寻找减少污染和废物的突破口, 一般将研究的重点集中在技术领域, 通常的做法是把低价的副产品作为其他生产过程的投入物。这是一种技术驱动方法, 他将主要关注于单个生产过程或企业间为了实现资源交换而应具备的基础设施和技术的研究上 (Allenby et al., 1992; Nemerow et al., 1995; Allen et al., 1994; Aupperle et al., 2000)。第二个领域是从更广的角度来看待企业系统和网络。他们认为企业之间相互合作组成团队所取得的环境和经济绩效要比单个企业所取得绩效大得多 (Ayres, 1996; Gertler et al., 1995; Lowe et al., 1997; Desrochers et al., 2000)。这种观点已经从原来仅有的材料交换发展到企业之间其他形式的相互合作, 如服务共享 (sharing services)、运输 (货物和员工) 以及各种设施等。然而, 工业生态学的含义已经超出了原有意义上企业间物质回收和交换的范畴, 它正朝着第三个领域发展, 即企业和社区之间的相互关系 (Côté, Raymond, Cohen-Rosenthal, 1998)。工业生态学是以可持续发展的“3E”思想为基础的, 即经济 (economy)、环境 (environment) 和平衡 (equity)。它试图在企业、社区和公共部门之间形成共生网络, 强调通过建立合作和网络

关系并以更可持续的方式来管理能源、水和材料。它认为企业或者一家具体的生态工业园和当地工业、生态系统、机构和社区之间应该建立联络关系。在这个领域,工业生态学是一门社会范畴的科学,关键的因素不是技术方法问题,而是社会关系和人们的创新意识(Christensen et al., 2000; Cohen-Rosenthal et al., 1998)。

总之,工业生态学是一个不断发展的理论,人们对它的研究才刚刚开始,随着世界工业水平和环保技术的不断提高,工业生态学的内涵还将不断丰富。

1.1.2 生态工业园的研究进展

1. 生态工业园概念的提出

生态工业园(eco-industrial park, EIP)是工业生态学理论在实践中最成功的应用方式。早在20世纪90年代初期,加拿大达尔湖西大学和美国康乃尔大学的学者们就对工业园的发展进行了初步构思。1992年,美国Indigo发展研究所首先提出了生态工业园的概念,并于1993年在美国环境管理委员会(EPA)上向全体会员介绍了这一概念。1995年EPA在一项环境技术规划中列入了一项EIP项目,并且建议总统可持续发展委员会将EIP作为示范项目进行推广,截至2008年上半年,美国至少有上百个社区建立了生态工业园项目。在除美国以外的其他地方,如亚洲、欧洲、南美洲、澳大利亚、南非和纳比米亚等地也建立了许多生态工业园项目。

生态工业园与传统的工业园在很多方面存在相似性,都拥有一些彼此距离很近的资产设施、大量入驻的企业,共同分享园区内的基础设施和服务,一般还有一家企业协会,生态工业方法对工业园发展的创新之处在于持续改善园区的环境绩效和经济表现(Lowe et al., 1997, 2000; Kassinis, 1997)。在工业生态学的文献中,生态工业园最初被描述为在考虑某些物质化学联系可能性的情况下用来管理材料和能源流动的一种有效方式。更多的是,环境学家将它作为实现废物最小化的一种工具,通过建立特殊的联系,需要丢弃的固体废弃物、原材料的投入和运输成本减少了,从而对环境的破坏也就大大减少了。在一篇备受大家注目的文章中^①,Sagar和Frosch认为,生态工业园可以被描述为“在一个确定的地理区域范围内,有组织地创造的一个园区……主要是便于材料的再循环或再使用”。

1995年,Côté和Hall提出了这样的定义:生态工业园是一个保护自然和经济资源的工业系统,它通过降低在生产、使用原料和能源、安全保障以及加工处理过程中的成本来提高运营效率、产品质量、劳动者健康水平和公共形象,同时通过使用和销售废料来提供创造收入来源的机会。Côté的定义强调了生态工业园在提高生态效率和创造市场机会方面所起的作用,是对生态工业园最终所追求结果的一种描述,但他未谈到如何才能实现这些效果,仅通过该定义很难付诸实践。

1996年10月美国总统可持续发展委员会提出了两个重要的生态工业园定义:

1) 生态工业园是指在某一社区范围内的各企业相互协作,共同高效率的分享社区内

^① Sagar A D, Frosch R A. 2004. A Perspective on Industrial Ecology and Its Application to Metal's Industry Ecosystem. *Journal of Cleaner Production*, 12:1001~1002.

的各种资源（信息、原料、水、能量、基础设施和自然居所），从而获得经济效益和环境质量的提高，最终实现社区内的人、经济和环境均衡发展。

2) 生态工业园是一个经过对原材料和能量交换进行精心规划过的工业系统。在这个系统内通过尽可能少地投入能量和原料而实现废物产生的最小化，从而建立经济、生态和社会的可持续发展。

第一个定义强调了生态工业园与社区的合作，这对从整体上提高生态系统的效率是非常重要的。第二个定义从经济、生态和社会的可持续上对生态工业园进行了描述，对更全面地了解生态工业园具有重要作用。

以上几个定义都是从正面来描述什么是生态工业园，1994年 Triangle 研究院和 Indigo 发展研究所从相反的角度指出，真正的生态工业园不应仅仅包括以下某一项内容：①一种单一的副产品交换模式或交换网络；②大量从事回收利用业务的企业群体（资源回收、修理公司等）；③大量从事环保技术的公司的集合；④围绕某单一主体而设计的工业园；⑤一个具有大量环保型基础设施和建筑物的园区；⑥一种混合发展模式（工业的、商业的和居民的）。

在借鉴以上生态工业园定义的基础上，Lowe（2001）在亚洲银行项目“Introduction to Eco-Industrial Parks”中对生态工业园的定义进行了全面总结，基本得到国际上工业生态学家的接受，即：生态工业园是一个由制造业企业和服务业企业组成的群落，它通过管理包括能源、水和材料这些基本要素在内的环境与资源方面的合作来实现生态环境与经济的双重优化和协调发展，最终使该企业群落寻求一种比每个公司优化个体表现就会实现的个体效益的总和还要大得多的群体效益。简言之，生态工业园区的目标就是要改善参与公司的经济表现，同时最大限度地减少其环境影响。

Lowe 的定义强调了：①生态工业园中企业进行合作的范围和内容；②生态工业园中企业创造的整体效益要大于单个企业之和；③生态工业园的首要目标就是为企业创造良好的经济效益，其次才是环境效益。它澄清了生态工业园中的一些模糊概念，提高了将该理念应用到实践中去和在各地进行推广的操作性。

原中国环境保护总局在借鉴国际理论的基础上，结合我国生态产业特点，于2006年6月正式提出我国生态工业园区的概念：生态工业园区是依据循环经济理念、工业生态学原理和清洁生产要求而设计建立的一种新型工业园区。它通过物流或能流传递等方式把不同工厂或企业连接起来，形成共享资源和互换副产品的产业共生组合，建立“生产者—消费者—分解者”的物质循环方式，使一家工厂的废物或副产品成为另一家工厂的原料或能源，寻求物质闭环循环、能量多级利用和废物产生最小化。

2. 生态工业园运作原则和形式

为了进一步明确如何建立生态工业园，Lowe（1997）提出了一些指导生态工业园建设的原理。但 Lowe 提出的这些原理基本上都是集中在技术层面，而对社会因素考虑得不够充分。1998年，Côté 和 Cohen-Rosenthal 等对这一问题进行了补充。他们描述了许多应在生态工业园建立过程中考虑的潜在网络连接机会，除了涉及材料和能量的共生关系外，他们指出这种网络连接还包含以下方面，如交通运输（汽车联营）、人力资源管理