

X SHENGTAI GONGYEYUAN  
ITONG DE YANHUA YU TIAOKONG

浙江省哲学社会科学重点研究基地——浙江  
财经学院政府管制与公共政策研究中心 研究成果  
浙江省高校人文社会科学重点研究基地——产业经济学

# 生态工业园系统的 演化与调控

秦荪涛◎著

 经济管理出版社  
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

X SHENGTAI GONGYEYUAN  
ITONG DE YANHUA YU TIAOKONG

浙江省哲学社会科学重点研究基地——浙江  
财经学院政府管制与公共政策研究中心  
浙江省高校人文社会科学重点研究基地——产业经济学

研究成果

# 生态工业园系统的 演化与调控

秦荪涛◎著

经济管理出版社  
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

**图书在版编目 (CIP) 数据**

生态工业园系统的演化与调控/秦荪涛著. —北京:  
经济管理出版社, 2008. 10

ISBN 978—7—5096—0394—9

I. 生… II. 秦… III. 工业区—生态环境—研究  
IV. X171

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 151986 号

**出版发行：经济管理出版社**

北京市海淀区北蜂窝8号中雅大厦11层

电话：(010)51915602 邮编：100038

印刷：北京交通印务实业公司

经销：新华书店

组稿编辑：张 艳

责任编辑：张 艳 陈亚辉

技术编辑：杨国强

责任校对：超 凡

710mm×1000mm/16

11 印张 180 千字

2008 年 10 月第 1 版

2008 年 10 月第 1 次印刷

定价：30.00 元

书号：ISBN 978—7—5096—0394—9/F·383

**· 版权所有 翻印必究 ·**

凡购本社图书，如有印装错误，由本社读者服务部

负责调换。联系地址：北京阜外月坛北小街 2 号

电话：(010) 68022974 邮编：100836

## 摘 要

本书运用生态工业学以及生态经济学理论,借助复杂适应性理论的多主体建模思想,分析了系统内外的能量流、物流、信息流运动,抽象出了生态工业园区的要素、结构和功能。以和谐共生为主题、追求经济效益和相互消耗工业剩余物为目的,在一个开放的空间内,从产业个体意愿出发,通过演化建立生态工业立体循环网络系统模型,从不同侧面对生态工业系统进行建模和求解,并且在 Swarm 平台建立了它的仿真模型。采用实验运行演化的方法,观察生态工业系统在没有外部干扰下的稳定情况,研究达到这种稳定所需要的演化过程,表现这个稳定状态,分析稳定的本质。如果达不到这种稳定的状态,寻求在外界可靠技术“定位”的帮助达到该平衡状态的方法,分析市场波动及政府宏观政策对园区的影响,研究生态工业园区的演化策略理论和方法,建立静态和动态生态经济均衡模型,以可持续发展的方法调控生态工业园区的企业种类和规模,加强生态工业共生系统的自适应能力。

研究(虚拟)生态工业园区具有重要的实际应用价值。在欧美等发达国家,出现了将传统工业开发区改建成生态工业园区的趋势。我国有数百个各种层次、各种类型的工业开发区(产业聚集区),随着环境的日益恶化,也面临着生态改造问题。我们的研究提出了在一个开放的区域范围内构建和谐产业生态循环系统的一些方法,成果可以为政府决策提供参考,为规划、设计部门提供理论指导和实践仿真,为产业绿色技术创新提供“路线图”和行动指南。

# 致 谢

首先感谢老师河海大学商学院、水文水资源与水利工程科学国家重点实验室水经济与管理方向首席专家王慧敏教授的启迪和教诲，本书写作期间，得到了老师不断的亲自点拨。感谢老师徐立中教授，在他倾心相授和耐心的教诲中，我重新学习了系统工程学科理论和智能管理方法，对该学科有了更深层次的认识和理解。值此论文完成之际，谨向我的老师们致以深深的谢意，祝愿老师们身体健康，工作顺利，万事如意！

感谢教育部人文社会科学研究项目计划对本书的支持，感谢杭州市哲学社会科学规划课题常规性重点课题的资助和支持。

感谢我的工作单位浙江财经学院领导、科研处领导和信息学院部门领导在本书写作期间所给予的极大关怀和项目资助。

感谢我的老同学西安科技工程大学管理学院张彤教授在我写作期间自始至终的真诚帮助和鼓励。

感谢浙江省环保局、杭州市委、杭州市环保局、衢州市国税局以及浙江省和杭州市政府相关部门在本项目研究和调研时给予的大力支持。

感谢杭州宽视电子有限公司总工郑巍高级工程师对仿真程序的编写和调试所做出的帮助和支持。

感谢我的家庭，特别是小女秦旭瑞，她无忌的语言和无瑕的思维方式经常给予我无穷的灵感。

感谢我的父亲母亲，是他们的艰辛付出、无言的支持、潜移默化的教育造就了我，没有他们就没有我的一切。

谨以此书告慰父亲在天之灵，儿子的所有进步都离不开父亲的教育，父爱如山。

秦荪涛

2008年5月 浙江 杭州

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 第一章 绪 论 .....               | 1  |
| 第一节 选题的背景 .....             | 3  |
| 第二节 生态工业系统的研究现状综述 .....     | 5  |
| 一、生态工业系统建模方法的发展 .....       | 11 |
| 二、生态工业系统方法的研究 .....         | 14 |
| 第三节 课题的提出及研究目标和意义 .....     | 15 |
| 一、研究目标 .....                | 16 |
| 二、理论意义 .....                | 16 |
| 三、实用价值 .....                | 17 |
| 第四节 研究框架和方法 .....           | 18 |
| 一、研究的技术路线 .....             | 18 |
| 二、主要研究方法 .....              | 19 |
| 第二章 生态工业园区系统演化研究的基本理论 ..... | 21 |
| 第一节 复杂性科学及其研究内容 .....       | 21 |
| 一、复杂系统理论发展背景和过程概述 .....     | 21 |
| 二、复杂系统理论基本思想与概念 .....       | 24 |
| 第二节 复杂适应性系统理论(CAS 理论) ..... | 26 |
| 第三节 生态工业园系统:一类复杂适应性系统 ..... | 29 |
| 第四节 基于多主体建模方法 .....         | 35 |
| 第五节 CAS 的建模试验平台 .....       | 39 |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| <b>第三章 生态工业园区系统的逻辑模型</b>     | 41 |
| 第一节 概 述                      | 41 |
| 第二节 生态工业系统中主体及其属性            | 45 |
| 第三节 生态工业共生主体及产业共生规则          | 46 |
| 第四节 产业共生体与工业剩余物交换食物链         | 49 |
| 第五节 生态整合和生态工业园区              | 53 |
| 本章小结                         | 55 |
| <b>第四章 生态工业园区系统演化聚集的定量分析</b> | 57 |
| 第一节 概 述                      | 57 |
| 第二节 基于遗传算法的生态工业园区系统的演化分析     | 58 |
| 一、染色体结构设计和遗传算子               | 60 |
| 二、生态工业园区遗传算法                 | 63 |
| 三、模型运行结果分析                   | 67 |
| 第三节 生态工业园区中产业剩余物交换网的规划建模     | 70 |
| 一、规划建模的目标                    | 70 |
| 二、剩余物交换规划模型构建                | 70 |
| 三、规划模型的变换及应用分析               | 72 |
| 四、实例计算                       | 75 |
| 本章小结                         | 77 |
| <b>第五章 生态工业园区系统演化聚集的定性分析</b> | 79 |
| 第一节 概 述                      | 79 |
| 第二节 生态工业园区系统的演化              | 80 |
| 一、生态工业园系统结盟稳定性分析             | 81 |
| 二、对生态工业园系统的协调控制机制博弈模型        | 82 |
| 三、生态工业园区系统演化博弈模型             | 83 |
| 第三节 生态工业园水资源供给调配管理模型         | 86 |
| 一、生态工业园区水资源配给描述              | 86 |
| 二、基于人工神经网络的生态工业园区水资源模型       | 87 |
| 三、生态工业园区水资源模型的算法设计           | 90 |

|                                          |            |
|------------------------------------------|------------|
| 四、生态工业园区水资源模型的实现 .....                   | 92         |
| 第四节 工业剩余物交换网络演化特性分析 .....                | 93         |
| 一、生态工业园区剩余物交换网的复杂网络特性 .....              | 93         |
| 二、生态工业园区剩余物交换的复杂网络模型 .....               | 94         |
| 三、生态工业园区复杂网络模型的运行求解 .....                | 96         |
| 本章小结 .....                               | 98         |
| <b>第六章 基于 Swarm 平台的生态工业园区系统的仿真 .....</b> | <b>99</b>  |
| 第一节 概 述 .....                            | 99         |
| 一、关于 Swarm 和 Objective C .....           | 101        |
| 二、Swarm 2.2 的下载和安装 .....                 | 102        |
| 三、实现一个 Swarm 仿真应用的基本步骤和程序基本结构 .....      | 103        |
| 第二节 基于多主体的生态工业园区模型 .....                 | 104        |
| 第三节 生态工业园区系统的仿真实现 .....                  | 115        |
| 第四节 生态工业园区系统仿真及其调控运行结果分析 .....           | 117        |
| 一、环境参量的调控变化对演化的影响 .....                  | 121        |
| 二、生态工业剩余物食物链中节点的变迁对演化的影响 .....           | 127        |
| 三、外部市场的变化对演化的影响 .....                    | 129        |
| 四、剩余物治理成本的调控对系统的影响分析 .....               | 130        |
| 本章小结 .....                               | 133        |
| <b>第七章 结论与展望 .....</b>                   | <b>139</b> |
| 第一节 基本结论 .....                           | 141        |
| 第二节 主要贡献 .....                           | 142        |
| 第三节 遗留问题 .....                           | 143        |
| 第四节 应用前景 .....                           | 144        |
| 一、剩余物交换网的功能架构 .....                      | 144        |
| 二、剩余物交换网系统层次结构 .....                     | 146        |
| 三、应用展望 .....                             | 148        |
| <b>参考文献 .....</b>                        | <b>150</b> |
| <b>致 谢 .....</b>                         | <b>167</b> |



# 第一章 绪 论

工业化既是人类技术进步、经济发展和社会文明的结晶，也是环境污染、生态破坏和社会问题的汇合处，在每天的新闻中诸如此类的报道比比皆是：渔场衰落、森林缩小、土壤侵蚀、牧场退化、沙漠扩大、二氧化碳水平上升、地下水位下降、全球气候变暖、破坏性风暴增多、冰川融化、海平面升高、珊瑚礁死亡、物种消失……人们终于开始认识到要有效地组织工业企业，对它们进行一个生态整合，要求它们使用可再生资源的速度小于或等于其再生速度，并对不可再生资源进行最有效的使用。同时，工业剩余物的产生和排放速度应当不超过环境自净或消纳的速度。循环经济要求把经济活动组织成“资源—产品—再生资源—再生产品”的物质反复循环流动过程，遵循“减量化、再利用、再循环”（3R, Reduce, Reuse, Recycle）原则，使整个经济系统的生产和消费过程不产生或只产生或者排放很少的工业剩余物，从根本上消解长期以来环境和发展之间的尖锐冲突，建立一个生态工业系统。

在自然界中，没有真正意义上的废物，一个物种的代谢产物总会被另一个物种作为营养物加以吸收利用，整个生物圈在太阳能驱动下，通过上亿年的进化过程已经实现了几乎所有物质的闭环流动。现在人类正是在大自然的启示下，运用生态学的原理来指导和规划整个工业体系，并据此提出工业生态的概念。

工业生态学的一个最重要的观念就是否定废物（Waste）的概念。字典中的“废物”是指没有用处或者没有价值的物质，然而在自然生态系统中没有什么东西是最终要被抛弃的，所有的物质最终都会以不同的方式得到有效的利用，自然界在其长期的进化过程中已经显示出了这种规律，所以生态工业认为“废物”是一种“错位的资源”，人们通过向“废物”注入能源等，可以将其提升为高品质的资源，重新作为原材料用于工业生产，达到变废为宝

的目的,从而实现物质在整个工业系统中的循环以及人类社会的可持续发展。本书中,我们将经过生产剩余的和使用过的物质称为工业剩余物(Residua),而不是废物(Waste)。

工业生态学的一个重要研究内容是生态工业园区(Eco-Industrial Parks, 生态工业园区)的组织、设计与管理,研究它的聚集演化机制,对其在运行过程中进行柔性控制。生态工业园区是一个包括自然、工业和社会的复合体,它通过成员之间的副产物和剩余物的交换、能量和水的逐级利用、基础设施的共享来实现园区在经济效益和环境方面的协调发展。在美国、加拿大等发达国家,生态工业园区的建设正呈现出迅速发展的势头。需要说明的是,在这里,生态工业园中的“生态”已经不是狭义的生物学概念,而是包括了社会、经济、自然复合协调、持续发展的含义,是人与自然共生、共存、共荣的复合系统。

这里我们将生态工业园区看成是在一定的区域或范围内,由各种不同产业(如制造业企业、农业生产企业、渔业水产企业、服务业企业等)联合组成,而并不局限于单一的工业产业,利用生态学原理,通过企业间物质循环和能量流动的功能流相互作用、相互联系,以相互消耗工业剩余物而形成的生态产业体系。也就是把工业经济活动视为一种类似于自然生态系统的循环体系,其中一个企业产生的工业剩余物(或副产品)作为下一个企业的“食物”(原料),形成企业“群落”(工业剩余物食物链),随着这个群落的增大,工业剩余物(或副产品)可以在这个链中循环消耗殆尽,使得整个群落对外实行“零”排放,同时群落内部实现能量和水的梯级使用。有的专家将生态工业园区也称为生态产业园区,本书考虑再三,鉴于大多数文献的说法,还是称其为“生态工业园区”,需要说明的是两者除了文字,本质上没有区别。生态工业系统和自然生态系统的形成、发展与崩溃都是一个动态的演进过程,生态工业系统在初期所形成的自组织形式就是由产业自发聚集形成的工业共生体(或生态工业群落),而后随着人类对环境生态保护的理解,政策面的引导,于是可以说,从本质上生态工业共生体是在一定的历史条件和可持续发展背景下所演化出来的一种结构表现。

对生态经济而言,公共经济政策的形成,要以生态原理建立的框架为基础,要向着环境保护和减少排放为目的进行疏导和指引,生态学为产业

经济提供蓝图,利用一切经济活动和所有生物对地球生态系统的依赖关系,不同物种共同栖息相互影响,共同生存于复杂的平衡之中,通过食物链、养分循环、水文循环以及气候系统相互交织在一起,政府管制机构需要将生态目标转变为政策,将经济性和生态性结合起来,构建出一种可以持续发展的经济。

综上可以看出,生态工业园系统综合地运用了工业生态学和经济学理论和思想,把经济增长建立在环境保护的基础上,体现了人和自然和谐相处的思想,是未来经济可持续发展的一种重要模式,所以研究生态工业园区系统有着十分积极的意义。

## 第一节 选题的背景

生态工业园区是继传统工业开发区、高新技术产业开发区之后的第三代工业园区。从政府管制和公共政策角度出发,管理层研究怎样从经济和生态上制定管制政策引导建立生态工业园区,如何在园区开始营建时就有选择地对申请入园企业进行招商,如何在某一个区域或更大的产业范围中找到并实现工业共生食物链网,在工业共生食物链网中某些结点出现问题时又如何更大的社会范畴中找到可以替代的结点或组建次优网络。考虑外部政策调整时可能会带来的后果,对申请加入园区企业进行考察甄别,通过计算机仿真,在生态工业园区实现之前就有一个园区的演化模拟路径以及生态工业共生食物链网络的蓝图,以及如何在更大区域范围内实现工业剩余物互相消耗,这一切都已经成为摆在我们面前亟待研究的课题。

国内外对生态工业园区系统演化的研究从 20 世纪 90 年代才刚刚起步,其侧重面和角度各不相同,有从生态工业园区的生态系统性质出发(Cote R. P., Hall J., 1995)的,有从生态工业园区的历史发展研究其演化(Lowe E., Morn S., Holmes, 1995)的,还有从生态工业园区中能量传递、物质循环和协同的演化来研究(Thermoshare, 1997)的。有的从系统的角度研究生态工业园区的设计与操作(Cote R. P., Hall J., Klynstra P., Martin M., Wade P., 1995),有的从生态工业园区的案例作实证研究(Research Triangle Institu-

te, 1994), 还有的对生态工业园区进行规划实践 (Raymond P., Cote E., Cohen-Rosenthal, 1998) 等。生态工业园区的研究一开始主要集中在德国、加拿大、美国、日本等少数发达国家, 随后其他各国也积极开展了生态工业园区的研究和开发, 研究内容涵盖工业和环境管理项目, 其战略基本都是从招募与当前产业生态相配套的相关企业, 特别是再循环与废物交易类公司作为食物链网的“分解者”结点, 开发那些兼备利润、资源、效率、工业生态学和污染防治的工业设施, 建立工业废弃物交流中心, 改造旧的污染严重的地理区域 (褐色土地开发)。而我国经济系统中对工业生态问题的研究起步较晚, 直到近年来才有专家进行了生态工业、环境生态学的研究, 香山科学会议第 198 次学术讨论会曾提出对生态工业系统自组织演化与复杂性研究, 应用复杂自适应系统理论研究生态工业系统演化进程, 以期探讨促进生态工业系统演化进程的机制。但是他们讨论的还只是宏观的生态工业的演化机制, 而生态工业园区是生态工业的具体实施, 他们还没有深入中观和微观到这个层面, 可惜的是最后也没有涉及生态工业园区的具体演化分析。

由此可见, 目前国内外专家学者的研究主要关注的还是具体生态工业的规划和生态工业园区的模式和制度, 以及进行减轻工业对环境影响的具体技术措施研究, 基本上是从工程的角度来研究和分析生态工业园系统, 采用的基本还是还原论的建模思想, 从管理学、技术经济学以及系统仿真的角度考虑较少, 鲜有文献从系统仿真和系统自组织的角度探讨生态工业园的演化机制。本书试图采用有限的理性、分散控制、追求组织效率和敏捷性以及线性与非线性处理的手段, 通过政策调控以系统自组织演化的方式实现计算机仿真, 期望在生态工业园区系统的结果和功能上达到某种自组织形式或预测控制可能的涌现。

研究生态工业园的演化发展具有重要的实际应用价值。在美国、法国、加拿大、丹麦等发达国家, 出现了将传统工业开发区升级改造建成生态工业园区的趋势。而在我国, 随着环境的日益恶化, 有数百个各种层次、各种类型的工业开发区, 也将面临改建成生态工业园区的问题。经济的再次腾飞, 将会掀起新一轮工业开发区的建设热潮, 和谐社会出于环境保护的目的, 可能要求新的工业开发区直接建成生态工业园区。无论生态工业园区新建或改建

都需要对其演化机制深入研究,找到制定引导生态工业发展的政策杠杆,分析生态工业园区的发展路径及运行结构。在此背景下,生态工业园演化机制的研究成果将为政府制定招商引资和可持续发展决策提供参考,为生态工业园区的管理、组织、规划、设计部门提供理论指导和优化解决方案,缩短生态工业园区的建设周期,为生态工业园区系统的建设和运行提供“绿色路线图”和行动指南。

## 第二节 生态工业系统的研究现状综述

在 1977 年的德国地球学年会上,美国地球化学家 Preston Cloud 在其论文<sup>[1]</sup>中首先使用了“工业生态学”(Industrial Ecology),后来 Frosch 和 Nicholas 在《科学美国人》上撰文提出了“生态工业系统”(Eco-Industrial System)<sup>[47]</sup>被引为经典。他们强调人类的产业活动应当模仿自然生态系统,将产业系统和谐地纳入自然生态系统物质循环和能量流动的大系统中,建立一个新的产业生态系统。随着产业生态学的迅速发展,大批学者在该领域开展了深入、有价值的研究,有代表性的有法国著名环境管理学家 Ayers U. Robert<sup>[2]</sup>教授,美国康奈尔大学 Cohen Rosenthal<sup>[4]</sup>教授,加拿大达尔湖西大学 Raymond P. Cote<sup>[3]</sup>教授,美国 RPP 首席科学家兼 Indigo 产业生态研究中心主任 Ernest Lowe<sup>[5]</sup>教授,以及 Tibbs<sup>[7]</sup>, Ehrenfeld<sup>[6]</sup>, Allenby<sup>[8]</sup> 和 Gradel<sup>[9]</sup>等。通过理论研究和实践推广,他们认为建立“工业共生”是解决人类产业系统污染和提高环境资源配置效率的有效途径。在国内,生态工业系统的研究大多出现在介绍工业生态学和循环经济相关文章中,比较有代表性的学者有清华大学的钱易<sup>[10],[11]</sup> (2004, 2005)、金涌、李有润、冯久田<sup>[12]</sup> (2003),中国环境科学研究院的段宁<sup>[13],[14],[15]</sup> (2001, 2004) 和王金南<sup>[16],[17]</sup> (2002) 等,在他们关于工业生态学、循环经济和清洁生产以及废弃物处理的相关著作中都对工业生态园和工业共生网络的理念进行了介绍和评论,对我国生态工业共生建设具有重要的指导意义,也为我们对生态工业系统的研究奠定了基础。

从目前的研究来看,对资源环境约束强化的条件下的工业共生演化以及

工业生态共生网络领域的研究还刚刚起步, 学者们分别从不同视角尝试寻找解决办法, 对产业共生的研究基本集中在以下几点:

(1) 生态工业共生不仅仅是废弃物或者副产品的交换网络, 还包括产业中实体单元之间技术、设备等资源的共享, 以及产业实体单元间的相互信任、知识管理等。

(2) 共生在不同空间分布形式下表现出不同的特征, 比如从生态工业园的建设或者更大范围的空间布局相对分散的副产品循环网络。Deroschers<sup>[18]</sup> (2000) 指出, 由于价值规律、市场机制等经济因素的作用, 生态工业园强调的闭路循环很难实现, 而分散企业间的区域工业共生以及副产品交换是较易实现原料和排放物的减量化的。

(3) 还有些学者从基于组织关系的角度, 提出对工业共生关系不仅仅包含合作, 同时还有竞争和淘汰, 组织间有学习和创新。Boons 和 Baas<sup>[19]</sup> (1997) 指出, 生态工业共生与生物界的共生的一个本质区别是进化的非自发性, 即工业系统不像生态系统会自发地向着更高效率的目标进化, 因而实现经济和环境的双赢必须对企业成员的组织关系进行管理。

表 1.1 国内外工业生态学领域重大事件 (1993~2005 年)<sup>[46]</sup>

| 年份   | 事件及内容                                                                                                                                                                                                                                                     |
|------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1993 | 清洁生产杂志 (International Journal of Cleaner Production) 出版, 该杂志经常刊发有关工业生态学研究的文章。美国成立了可持续发展总统委员会 (President's Council on Sustainable Development, PCSD)                                                                                                       |
| 1996 | 美国可持续发展总统委员会召开生态工业园 (Eco-Industrial Parks) 研讨会, 对生态工业园区的定义、建设原则及美国生态工业园区建设实践情况作了研讨<br>工业生态学研究内容之一的生命周期评价杂志 (International Journal of Life Cycle Assessment) 发行                                                                                            |
| 1997 | 美国耶鲁大学和麻省理工学院合办了全球第一个工业生态学杂志 (International Journal of Industrial Ecology)<br>《美国环境科学与技术》杂志 (International Journal of Environmental Science and Technology) 发表了“21 世纪研究的优先领域”专题报告, 介绍了今后 20 年需要加强关注的 6 个优先领域: 经济与风险评估, 环境监测与生态学, 环境中的化学品, 能源系统, 工业生态学和人口等 |

续表

| 年份   | 事件及内容                                                                                                                                                                                                      |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1998 | 耶鲁大学成立工业生态学研究中心<br>美国白宫环境质量委员会召开生态工业研讨会<br>美国国家科学基金会资助 18 项有关生态工业的基础研究课题<br>美国矿产资源局 (USGS) 在 Virginia 举行了“关于科学、可持续能力和天然资源管理: USGS 物质与能量流动研究”专题工作会, 与会者就工业生态学物质与能量流动进行了研讨, 认为物质与能量流动研究对于正在形成的工业生态学研究具有重要的意义 |
| 2000 | 国际工业生态学学会 (International Society of Industrial Ecology) 成立美国跨部门工作小组发表题为“工业生态学——美国的物质与能量的流动”的报告                                                                                                             |
| 2001 | 美国国家生态工业发展研究中心 (National Center for Eco-Industrial Development) 在康奈尔大学成立; 中国国家环保总局批准广西贵港和广东南海为国家生态工业建设示范园区                                                                                                 |
| 2004 | 工业生态学分支领域——工业共生学术研讨会在耶鲁大学召开, 来自世界各国的专家和学者就工业共生的内涵、理论和方法做了界定                                                                                                                                                |
| 2005 | 第三届国际工业生态学大会在瑞典召开, 包括经济学、社会学等传统学科的 500 余名专家出席了本次大会                                                                                                                                                         |

国内外对生态工业系统的研究是伴随着工业生态学理论的发展而进行的, 在环境和化学学界居多, 尚未引起管理学界和经济学界足够的重视。目前的研究大多侧重于宏观政策和概念层面的介绍, 对生态工业演化机制和演化路径研究不多, 对于该领域所涉及的深层次问题的研究还刚刚起步, 开始从概念、理论向应用实践和试验推进。

国内外一些专家学者对生态工业园区的研究可以分成几类: ①生态工业园区的物质循环、能源传递和协同机制关系研究<sup>[48]</sup>; ②生态工业园区实施原则和策略研究<sup>[49]</sup>; ③生态工业园区的成员角色和相互关系研究<sup>[50]</sup>; ④生态工业园区的支撑机制研究<sup>[51]</sup>; ⑤生态工业园区的运作效率研究<sup>[52]</sup>。Lowenthal、Micah D.、Kastenberg、William E.<sup>[20]</sup>、Rechberger H.<sup>[21]</sup>、Graedel T. E.、Huesemann Michael H.<sup>[22]</sup>、Sieniutycz<sup>[23]</sup>、Stanislaw<sup>[23]</sup>等学者分别用熵理论对工业生态与能量系统、当代欧洲铜金属的循环、环境科学

与技术的有效解决手段以及机械能的产生或消费与工业系统的热力学有限性等问题进行了探索。20 世纪 90 年代末我国对生态工业园区系统的研究才被重视起来, 鉴于国内外对工业生态理论的研究处于起步阶段, 对生态工业园区系统所出现的自组织机理尚不清楚, 特别是从系统多主体仿真和建模角度及系统演化角度来分析生态工业园区文献少之又少。

一直以来国内外专家学者对生态工业园区的建立和规划都进行了研究和探索。如丹麦在 20 世纪 70 年代建立的卡伦堡生态工业园就是最早的一个自组织的生态工业系统的实践, 但事实上它并不是一个人们刻意设计的生态工业园区, 它的自组织性和地域的特殊性使得别人难以模仿。1994 年, 美国总统可持续发展理事会指定了四个生态工业园区示范点: 马里兰的巴尔的摩、弗吉尼亚的查尔斯角、得克萨斯的布朗斯维尔、田纳西的恰塔努加, 这以后又有百余座生态工业园区诞生。美国的一些著名大学正在加紧生态工业的研究, 麻省理工学院 (MIT) 于 1997 年在全美率先开设了工业生态学的课程, 康奈尔大学还在 2001 年成立了美国国家生态工业发展研究中心。1998 年 9 月耶鲁大学成立了生态工业学研究中心, 合作伙伴包括了该校的相关院系和澳大利亚、荷兰等国家的有关科研机构。其他各国也积极地开展了生态工业园区的研究和开发, 研究内容涵盖工业和环境管理项目, 其战略基本都是招募与当前生态学配套的相关企业, 特别是再循环与废物交易类公司, 开发那些兼备利润、资源、效率、工业生态学和污染预防的工业设施, 建立工业废弃物交流中心, 改造旧的污染严重的地理区域 (褐色土地开发)。

我国自 1999 年开始启动生态工业示范区建设试点工作, 建立了一些生态工业示范园区, 在园区中产业各环节实现了资源共享, 变污染负效益为资源正效益。但事实上我国的生态工业园项目距离真正意义的生态工业园还很远。比如贵港生态工业园区中除了固体废物的循环利用外, 能源和水的效率优化并没有真正纳入到该项目的建设, 而且关于利用自然生态特点消除环境负面影响的内容也没有纳入到项目的规划中。其他生态工业园区如广东省南海国家生态工业示范区、四川沱酒集团生态工业园、海南环保工业园等类似的项目正在进行并基本完成, 大连、烟台、天津的开发区也已经开展了生态化改造的实践。然而到目前为止, 国内所有这些项目, 或者是众多从事环保产品或绿色产品生产的企业的集合体, 或者是以某个环保主题为主线的众多企



业构成的企业社区，尚无一家国际上承认的真正意义上的生态工业园。2001年4月清华大学化工科学与技术研究院成立过程工程与生态研究中心，率先在国内开展生态工业研究。中科院过程工业研究所开拓了绿色工业化学与清洁生产技术的研究新方向。东北大学正在展开冶金行业的工业生态学研究。中国科学院生态环境研究中心正在研究产业生态学。中国环境科学研究院也进行着生态工业园区的规划工作。在香山科学会议第198次学术讨论会中，李有润教授曾提出对生态工业系统自组织演化与复杂性研究，应用自适应复杂系统理论研究生态工业系统演化进程，以期探讨促进生态工业系统演化路径的机制。

对工业生态园区系统的研究主要集中在德国、加拿大、美国、日本等少数发达国家。为描述问题对象，我们先从国内外专家对生态工业园区系统的定义出发了解研究目标，下面是关于生态工业园区的一些定义。

美国RPP公司首席科学家、靛青（Indigo）发展研究所主任 Ernest Lowe<sup>[24]</sup>教授对生态工业园下的定义为：一个生态工业园区是一个由制造业企业和服务业企业组成的群落，它通过在管理包括能源、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。在生态工业园区内，企业模仿自然界生态系统，相互之间存在协同和共生关系，将最大限度地充分利用资源和减少负面环境影响，最终达到工业可持续发展的目标。

Cote 和 Hall 从生态工业园区的运作目标角度将生态工业园区定义为：“生态工业园区是一个工业系统，它保存着自然和经济资源；并减少生产、物质、能量、风险和处理的成本与责任；改善运作效率、质量、工人的健康和公共形象；而且它还提供由废物的利用和销售获利的机会。”<sup>[25]</sup>（Cote R. P. 和 J. Hall, 1995）

与此同时，Lowe、Moran 和 Holmes 等学者也给出了生态工业园区的定义，他们强调生态工业园区内的合作机制，认为生态工业园区是制造业和服务业的共同体，通过环境与资源管理方面的合作，这些制造业和服务业追求