

生态产业链运作机制研究

A Study on the Operating Mechanism of
Ecological Industrial Chain

王秀丽 著



经济科学出版社
Economic Science Press

生态产业链运作机制研究

A Study on the Operating Mechanism of
Ecological Industrial Chain



经济科学出版社
Economic Science Press

图书在版编目 (CIP) 数据

生态产业链运作机制研究 / 王秀丽著. —北京:
经济科学出版社, 2011. 5

ISBN 978 - 7 - 5141 - 0573 - 5

I. ①生… II. ①王… III. ①生态经济学:
产业经济学 - 研究 - 中国 IV. ①F120. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 059667 号

责任编辑: 周国强

责任校对: 徐领柱

技术编辑: 邱 天

生态产业链运作机制研究

王秀丽 著

经济科学出版社出版、发行 新华书店经销

社址: 北京市海淀区阜成路甲 28 号 邮编: 100142

编辑部电话: 88191350 发行部电话: 88191540

网址: [www. esp. com. cn](http://www.esp.com.cn)

电子邮件: [esp@ esp. com. cn](mailto:esp@esp.com.cn)

北京密兴印刷有限公司印装

880 × 1230 32 开 6.5 印张 200000 字

2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5141 - 0573 - 5 定价: 26.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

(版权所有 翻印必究)

前 言

十七届五中全会通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十二个五年规划的建议》中明确指出“坚持把建设资源节约型、环境友好型社会作为加快转变经济发展方式的重要着力点”。生态产业是实现可持续发展的重要模式。我国“十二五”期间以至未来一段时间，将是生态产业发展的加速期。构建生态产业链是实现生态产业的核心环节。生态产业链的结构及其运行机制是决定整个生态产业系统的稳定性和可持续性的关键因素。本书主要运用博弈论与信息经济学、环境经济学和自组织理论，对生态产业链的运作机制进行系统研究，本书的主要研究内容包括以下五个方面：

1. 运用自组织理论剖析了生态产业链的生成机制。应用耗散结构理论分析框架，阐释了生态产业链系统的开放性及远离平衡态的性质；剖析了生态产业链中的非线性作用和涨落现象；运用协同理论建立了系统的自组织动力学方程，通过对方程定态解稳定性的分析，讨论了生态产业链系统热力学分支失稳后收敛于有序的耗散结构分支上的可能性。

2. 运用博弈论研究了生态产业链中企业和政府的策略选择问题。建立了企业行为方式选择的静态博弈模型，通过纳什均衡分析得出企业参与生态产业链的决策依据；构建了政府激励策略选择模

型，对其结论给出环境经济学解释；建立了企业和政府间的动态博弈模型，由于博弈精炼纳什均衡解得出政府最优补贴率及企业最优反应函数。

3. 对生态产业链合作中的几个关键问题进行了研究。建立了合作伙伴评价指标体系；提出了基于模糊层次分析法和证据理论结合的合作伙伴选择方法；应用信息经济学理论建立了生态产业链的逆向选择和道德风险模型；提出了合作伙伴间共生能量分配的修正沙普利（Shapley）值法。

4. 运用进化博弈论研究了生态产业链的稳定性问题。首先给出了进化博弈的基本分析框架，剖析了生态产业链演进过程的进化博弈特性；在此基础上建立了生态产业链演进的复制动态方程，得出了系统的五个局部不动点；利用雅可比（Jacobian）矩阵对不动点进行稳定性分析。

5. 研究了生态产业链中的信息共享机制。首先描述了生态产业链中的信息流及信息共享的特征；然后分析了生态产业链中信息共享的风险；最后给出信息共享的方案设计。

最后对研究工作进行了总结，并对该领域的相关研究方向进行了展望。

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 问题的提出	1
1.2 研究目的和意义	2
1.3 生态产业链的国内外研究现状	4
1.4 本书研究内容	13
第 2 章 生态产业链理论基础	17
2.1 工业生态学理论	17
2.2 生态工业园理论	23
2.3 循环经济理论	27
2.4 食物链理论	29
2.5 本章小结	31
第 3 章 基于自组织理论的生态产业链生成机制	33
3.1 自组织理论	33
3.2 基于耗散结构理论的生态产业链生成的 自组织条件	35
3.3 基于协同理论的生态产业链生成的动力学机制	51
3.4 本章小结	62

第4章 生态产业链中企业和政府策略选择	63
4.1 企业行为的外部性	63
4.2 企业行为方式选择的静态博弈分析	71
4.3 政府激励策略的选择	78
4.4 激励方案确定的博弈分析	82
4.5 本章小结	88
第5章 生态产业链合作机制	89
5.1 生态产业链合作伙伴评价指标体系	89
5.2 生态产业链合作伙伴综合评价和选择	101
5.3 生态产业链中的委托代理激励机制	111
5.4 生态产业链企业间共生能量分配机制研究	124
5.5 本章小结	130
第6章 基于进化博弈论的生态产业链演进稳定性	131
6.1 生态产业链的演进及其稳定性问题	131
6.2 进化博弈的基本分析框架	136
6.3 生态产业链演进过程的进化博弈特性	142
6.4 生态产业链演进稳定策略(ESS)分析	143
6.5 生态产业链演进稳定的影响因素分析	150
6.6 本章小结	156
第7章 生态产业链信息共享机制	157
7.1 信息的含义及信息的增值作用	157
7.2 生态产业链中的信息流	158
7.3 信息共享的特征	161

7.4 信息共享的风险分析	162
7.5 信息共享方案设计	164
7.6 本章小结	177
第8章 总结与展望	178
8.1 总结	178
8.2 展望	181
附录 相关符号说明	183
参考文献	184
后记	200

第1章

绪 论

1.1 问题的提出

随着工业化进程的不断深入，社会经济发展取得了前所未有的成就，人类建造了一个崭新的、繁荣的、令人眩目的世界文明。然而，工业活动在推动科技进步和物质繁荣的同时，也带来了许多问题，在一定程度上表现为反人性和反自然：自然环境仅仅被当成资源、载体和废弃物消纳者；高消耗、高污染的线性发展模式致使资源枯竭、环境污染、生态恶化；人们在享受经济繁荣的同时，也不得不接受愈益频繁的带有人为烙印的自然灾害的侵袭；各国经济高速发展的同时，也不得不承认日益严重的资源匮乏已成为其社会经济进一步发展的桎梏。

当人们认识到自身发展已经受到威胁的时候，为了解决长久的生存和发展问题，便开始深入认识自然生态系统和人类经济社会系统本身复杂的运行机制以及二者的相互作用机制，并试图解决二者之间存在的矛盾和冲突，寻求人类社会与自然和谐相处的发展道路，由此产生了可持续发展的思想。

在可持续发展思想形成的同时,人们便开始研究如何实现可持续发展的问題。由于工业生产对环境产生的巨大影响,所以在具体解决这一问题的过程中,工业生产活动与自然环境的关系最受关注,人们开始按照自然生态系统物质循环和能量流动规律重构经济系统^[108],使经济系统和谐地纳入到自然生态系统的物质循环过程中。工业生态的思想开始萌芽,并逐渐发展成工业生态学(industrial ecology)理论;与此同时,环境保护战略和行动也经历了从末端治理、过程控制到生态产业的历史性变革。

生态产业作为一种最新的产业模式,是仿照自然生态过程中物质循环的方式来规划工业系统的。在生态产业系统中,一系列企业通过企业内部污染预防和企业间共生合作来实现传统的非链接模式下无法获得的收益,包括资源消耗的减少、资源利用率的增加、废弃物产生量的最小化和可以出售的产品种类和数量的最大化。

生态产业链是生态产业系统最基本的构成单元^[62]。生态产业链是指某一区域范围内的企业模仿自然生态系统中的生产者、消费者和分解者,以资源(原料、副产品、信息、资金、人才)为纽带形成的具有产业链接关系的企业群落。构建生态产业链以实现区域范围内的物质循环和能量的梯级利用是实现生态工业的核心环节。生态产业链支撑整个生态产业系统的良性运作,链断了则生态产业系统不复存在。生态产业链的结构及其运行机制是决定整个生态产业系统的稳定性和可持续性的关键因素。

1.2 研究目的和意义

1.2.1 研究目的

本书的研究目的在于:通过对生态产业链运作机制的系统化、

深层次研究,进一步丰富现有的工业生态学理论和企业共生理论,同时为工业生态学从概念、理论向成功的应用试验推进提供理论依据和实践参考。具体的研究目的表现在如下几个方面:研究基于自组织理论的生态产业链生成机制,为后续研究奠定基础;利用博弈论分析生态产业链中企业和政府的策略选择,为企业参与生态产业链提供决策支持;生态产业链合作伙伴的选择问题、伙伴间的激励机制、分配机制的研究,为生态产业链伙伴间合作关系的处理提供理论支持;基于进化博弈论的生态产业链演进稳定性研究则给出了生态产业链稳定运行的条件;生态产业链企业间的信息共享机制的研究为生态产业链的协调运作提供信息技术支持。

1.2.2 研究意义

(1) 理论意义。

工业生态学是一门年轻的、正在蓬勃发展的新学科,关于工业生态学、生态工业园、产业生态系统的研究热潮方兴未艾,其理论、研究内容将随着研究的深入和实践的扩展而不断完善。本书以生态产业链的运作过程为研究主题,从管理的角度立足于生态产业系统的微观层面来研究实施生态工业的问题,在理论上具有重大的创新价值和机会。预期研究成果将在理论上指导企业制定生态产业发展战略和运作方式;将为政府部门制定相关政策法规和机制奠定理论基础,将是对生态工业理论研究的进一步深化。

(2) 实践意义。

生态工业是实现可持续发展的重要模式。西方一些发达国家在生态工业实践方面已有所进展,我国“十二五”期间以至未来一段时间,也将是生态工业发展的加速期。但由于缺乏科学的、系统的生态工业理论作为指导,目前仍存在很多亟待解决的问题。因此,积极研究、探索生态工业的基本理论问题不仅是理论上的需

要,更具有重要的实践意义。本书的研究,其实践意义主要在于:①完善的策略选择机制为生态工业的实施提供了现实的决策参考模式 and 政策导向。②监督激励机制、伙伴选择和合作机制、信息共享机制的研究将为我国生态工业的发展提供良好的制度支撑和技术支撑。这对加快我国生态工业发展具有重要的实践意义。③为传统企业集群朝着资源节约型、环境友好型的生态化方向改造和发展提供科学的指导、有益的借鉴和参考。

1.3 生态产业链的国内外研究现状

生态产业链一般是指,依据生态学和工业生态学的原理,以恢复和扩大自然资源存量为宗旨,以提高资源基本生产率和满足社会需要为主题,对两种以上产业的链接进行设计(或改造),并开创为一种新型产业系统的系统创新活动,主要通过产品体系规划、元素集成以及数学优化方法,构建材料、产品、副产品及废物利用的工业生产链,实现物质的最优循环和利用^[149,202]。也就是工业生态系统中甲企业的废物是乙企业的原料,乙企业的废物又成为丙企业的原料……依此类推,把不同企业产生的废物利用到不同阶段的生产过程中,使污染在生产过程中被消除,这个过程就是生态产业链链接过程,各个生态产业链共同组成了工业生态系统,来实现工业生态系统的工业代谢功能。

生态产业链设计是生态工业园区、副产品交换网络设计的核心部分。如何通过生态产业链的链接、系统的集成、共享服务和系统调控实现生态工业物质利用的减量化、再使用和再循环,实现能源的梯级高效利用,是构建生态工业体系的重点和基本出发点。

目前关于生态产业链的研究主要集中在以下领域:

(1) 生态产业链中物质和能量流动及效果评价研究。包括工业代谢分析、输入输出分析、物质流动的模式分析、生态产业链经济和环境效益的测算等。

(2) 生态产业链的形成机理和企业链接关系的分析。从已有资料看,对生态链形成机制的研究主要是应用经济学、制度经济学、信息经济学对生态链的形成过程进行定性分析定量研究。企业链接关系的研究则主要是链接过程的博弈分析。

(3) 生态产业链的稳定性研究。包括生态产业链的稳定性分析、稳定条件的求解、生态链中的风险研究等。

1.3.1 生态产业链中物质和能量流动研究

(1) 工业代谢的理论研究。

与自然生态系统相似,工业生态系统同样包括四个基本组成,即生产者、消费者、再生者和外部环境。工业代谢是模拟生物和自然生态系统代谢功能的一种系统分析方法,通过分析系统结构变化,进行功能模拟分析和物料、能源流动分析,进而研究工业生态系统的代谢机理和控制方法。

1994年艾尔斯(R. U. Ayres)等人提到了企业内部和企业之间的能量流、劳动力流、资金流、信息流 and 知识流,并开创性地提出了工业代谢示意图和工业代谢生物学模型以及工业模型^[11]。近年来,一些学者提出了研究原料与能源流动更具体的新方法,约斯腾(M. P. Joosten)等人于1998年提出了原料流动分析新方法STREAM (statistical-research for-analyzing material streams)^[53]。采用这种方法对荷兰的造纸和木材流动进行了分析^[70]。

陈定江在其博士论文中利用化学工程、生态学、系统工程的理论和方法,从系统的分析、集成与演化三个方面对工业生态系统中物质流、能量流的交换、连接展开研究^[100]。徐大伟分析了工业生

态链梯级循环物质流模式并给出了数学表达模型^[185]。

(2) 输入输出分析。

生态学家翰能 (B. Hannon, 1973) 提出可应用输入输出分析 (IOA) 模型对自然生态系统中复杂的物流和能流进行分析, 并进一步指出这一模型适用于任何由守恒流 (conservative flow) 构成的系统。帕特恩 (B. C. Patten, 1995) 将 IOA 扩展为效用输入输出分析 (utility input-output analysis), 该方法可定量揭示各物种在食物网中的重要程度以及系统由于物种共生而获得的效用^[76]。

IOA 在工业生态学研究中也得到应用。贝雷 (R. Bailey, 2000) 意识到工业生态系统中的物质流和能量流分析是工业生态学的一个基本问题, 其重要性如同在生物生态系统中研究自然生态系统中的营养物质流和能量流^[15]。

(3) 物质流动的模式分析。

徐大伟等以工业代谢为理论基础, 提出了简化的生态产业链的梯级循环 (包括企业间的互循环和企业内的自循环) 物质流模式及其数学表达模型^[185], 对建立工业生态系统中生态产业链之间梯级循环的物质流关系、揭示工业生态系统中物质代谢及循环流动机理具有一定的启发作用。

(4) 效益评价研究。

艾伦比 (B. R. Allenby, 1999) 提出使废物变成有用的下游企业的输入, 将有可能完全实现或接近完全实现物质的内部循环, 即可实现“零废物输出”^[12]。阿塞法 (G. Assefa, 2004) 则给出了基于计算机技术的生态链评价工具, 用来管理和分析生态产业链或生态工业网络输入输出的生态数据和经济数据^[13]。菲希特纳等 (W. F. Fichtner, et al, 2004) 给出了企业间能量交换的仿真评价方法, 用来计算企业间能量交换带来的技术的、经济的、生态的效果^[37]。切尔托夫等人 (M. R. Chertov, et al, 2005) 给出了工业共

生合作伙伴经济、环境方面的费用和效益的定量计算方法。并指出虽然合作伙伴的利益分配往往不均衡,但政府干预可以帮助建立更为有序的交流原则^[24]。

1.3.2 生态产业链形成机理和企业关系的分析

(1) 生态产业链形成机理的定性分析。

关于生态工业园内共生产业链形成机理方面的研究,传统经济学理论认为,产业共生通过企业集群特性可以产生集聚经济效应,获得规模经济和范围经济,进而使共生体获得竞争优势。同时,在市场机制下,王缉慈^[159]分析指出促使企业产生主动集聚的主要诱因有:运费和能源的节约、资源基础设施的共享以及信息的快速流动和管理的配合。郭莉^[115]从工业共生进化的经济、环境和技术三要素出发,分析指出“在工业共生的形成和进化过程中,经济效益是关键,环境效益是基础,技术创新是主要推动力,任何一个方面与其他两个方面息息相关。”杜旻^[110]从企业的角度指出,企业形成共生体是对生产要素共同需求的结果,生态工业共生体的运行动力本质上在于经济利益。王虹等^[158]从生态工业园中企业的社会和经济属性,以及其决策的关键约束条件出发进行推导,也得出类似结论。王兆华等^[169]则从新制度经济学交易费用理论分析指出,共生产业链的形成机理主要是在于节省交易费用,进而达到降低成本,以成本战略增强竞争力的目的。蔡小军等^[97]指出共生产业链的形成机理实际上是一个复杂的系统过程,该过程是生态产业链各个体通过寻求一种制度安排,以合理利用整条共生产业链的内、外资源,在尽量保护环境的同时,形成低成本、差异化或者两者结合的竞争优势。

在国外,生态产业链链接关系的研究进一步深入发展。卡伦堡生态工业园区挪伏·挪尔迪斯克(Novo Nordisk)副总裁克里斯滕

森 (J. Christense) 认为卡伦堡之所以能够成功是因为生态产业链中的企业所从事的产业不同但却彼此适合, 安排正确且有利可图, 从而激发了企业参与的积极性; 企业的参与是自愿的, 与规章部门之间是一种密切合作的关系^[94]。科尔霍宁 (J. Korhonen, 2001) 强调产业生态系统的构建应保持四个基本生态特征, 即循环性、多样性、本地化和渐进性^[54]。劳尔 (E. A. Lowe, 2002) 指出生态工业园设计中最为重要的原理是设计“闭环”系统^[65]。帕伦贝格 (P. H. Pellenberg, 2002) 分析了地方中介组织在创造企业链接的机会和运输服务中所起的重要作用^[77]。安东尼 (C. Anthony, 2002) 尝试将一种以网络为基础的市场机制用于支持生态工业的发展, 即建立电子的废物交换网络来更好地为发展中国家或贫穷国家提供发展生态工业的机会^[25]。

(2) 生态产业链规划的数学建模研究。

建立生态工业系统数学规划模型可以使其设计和管理建立在定量分析的基础上。

①复合实体工业生态系统的数学规划模型。

复合实体工业生态系统建模的思路为: 在一种统一的系统总体目标指导下, 生态工业系统中生态产业链的成员各自进行调整, 在满足约束条件的情况下实现系统总体目标。

贝利 (R. Bailey, 1997) 以卡伦堡工业生态系统为研究对象, 利用软件 STELLA 建立系统动态响应模型, 并在此基础上构建了一个多目标线性规划模型: 优化目标包括成员之间物料和能量的供应与需求之间偏差最小、整个系统的废物排放最小; 优化变量是各控制变量, 如蒸汽产生速率、蒸汽调整时间等^[16]。

因特网上的一个名为 (Smart Growth, 1998) 的虚拟组织开发了一个工业生态系统设计软件包—DIET (Designing Industrial Ecosystems Tool)^[85], 它的功能包括: 考察系统成员各种组合的可行

性,在经济、环境和社会效益目标间进行权衡;估算建立工业共生关系后的生态效率;计算成员的环境和经济的收益。该软件包的核心是一个线性规划模型,它将生态工业园(EIP)成员的利润近似地表示为其每一项产出量的线性函数,成员面临的资源、环境等方面的限制也近似表示为线性不等式。目标函数包括废物净产生量最小化、园区成员负担费用最小化、园区净收入最大化、创造更多就业机会等。DIET可与美国环境署开发的FET(facility energy tool)软件包结合使用,FET可提供一系列不同类型、参数可调的企业模块以快速搭建DIET所要研究的工业生态系统。

王曙光(1998)提出了一个最小排放社区决策支持系统的多目标混合整数非线性规划(mixed integer non-linear programming, MINLP)模型^[163]。模型的整数变量用以表示项目的投资与否,受投资总额的约束;模型的非线性简单地体现在某一分目标函数与整数变量结合的一些约束上。

这些模型在表达系统的结构及链接约束方面都缺乏灵活性,清华大学陈定江在其博士论文中提出一个关于生态工业园(EIP)的混合整数非线性规划(MINLP)模型,其功能和地位与DIET的线性规划模型相当,但它的特点是引入了逻辑表达式约束和非线性约束,增加了模型的表达能力^[100]。该模型包括成员模型和链接模型,成员模型作为模块,通过链接模型组合成不同拓扑结构的EIP模型。成员模型主要表达生态产业链成员的物、能、资金等输入和输出间的关系。链接模型除了表达与链接相关的物、能平衡关系外,还引入了逻辑表达式来表达EIP成员间的链接约束,并转换成由整数变量和连续变量组成代数不等式约束,最后用数学规划软件包LINGO实现和求解混合整数非线性规划(MINLP)模型。

②自主实体工业生态系统的系统仿真模型。

利用数学规划法得到的生态工业系统集成方案可以保证整个系