



经济管理学术文库·管理类

生态工业系统的 演化规律及其运行机制

The Evolution Law and its Operation Mechanism of
Eco-industry System

郭志达 / 著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

大连交通大学学术著作出版基金资助出版



经济管理学术文库·管理类

生态工业系统的 演化规律及其运行机制

The Evolution Law and its Operation Mechanism of
Eco-industry System

郭志达 / 著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

生态工业系统的演化规律及其运行机制/郭志达著. —北京: 经济管理出版社, 2015.11
ISBN 978 - 7 - 5096 - 3631 - 2

I. ①生… II. ①郭… III. ①工业生态系统—研究 IV. ①X171

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 039464 号

组稿编辑: 王光艳

责任编辑: 王光艳

责任印制: 黄章平

责任校对: 车立佳

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 A 座 11 层 100038)

网 址: www.E-mp.com.cn

电 话: (010) 51915602

印 刷: 北京九州迅驰传媒文化有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 720mm × 1000mm/16

印 张: 10.5

字 数: 159 千字

版 次: 2015 年 11 月第 1 版 2015 年 11 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978 - 7 - 5096 - 3631 - 2

定 价: 48.00 元

· 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

前 言

作为一个迅速崛起的发展中国家，中国在高速发展创造巨大的经济价值的同时，也加速了资源与能源的消耗、影响了资源与能源的持续供给，导致了生态环境不断恶化，进而影响人们的生活质量，削弱生态承载力，甚至威胁整个人类的生态安全。这是全球生态系统可持续发展的一个悖论，也是一种熵增困境。调整传统产业结构和转变经济发展方式，已成为影响和决定中国可持续发展的核心问题之一。党的十八大报告中提出，要大力推进生态文明建设，坚持节约资源和保护环境的基本国策，坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主的方针，着力推进绿色发展、循环发展、低碳发展，形成节约资源和保护环境的空间格局、产业结构、生产方式、生活方式，从源头上扭转生态环境恶化趋势，为人民创造良好的生产、生活环境，为全球生态安全做出贡献。在这种历史背景下，力求能实现经济效益、社会效益、生态效益同步最大化的生态工业系统模式，来成为中国国民经济增长中的一个新亮点。生态工业系统是一种新型的工业发展模式，是传统工业系统解决环境污染、气候恶化、资源利用效率低下问题并实现可持续发展的必由之路。建设与发展生态工业系统，是促进我国传统工业系统由“高投入、高污染、低产出”的粗放式经营发展模式向“低碳化、绿色化、生态化”方向转型的重要手段，是我国实现小康社会、和谐社会与伟大中国梦的必由之路，也是全世界绝大多数国家的共同心愿。

在不断变化的国际市场环境中，在全世界可持续发展的诉求下，生态工业项



目规划与建设的主体、参与企业、政府管理部门等如何适应时代要求来实现传统工业结构的生态化调整,从而转换经济发展方式以适应新的市场环境,即生态工业系统内外各构成要素的适应性演化行为如何,它们之间如何相互作用、相互依赖,使生态工业项目的参与者能够不断调整自身以适应不断变化的市场环境。将生态工业项目政府管理部门的他组织行为经验纳入对生态工业系统的演化规律与运行机制中进行研究,使生态工业系统的演化规律与运行机制研究更加完整。以上就是本书的写作意图。本书的宗旨是在研究中充分考虑到生态工业系统演化的他组织规律对参与主体适应性的影响,通过对决定生态工业系统周期演化过程的连续性和阶段性适时变量的调控,使生态工业系统协调、持续和良性发展,延缓系统的“衰老”,延缓熵增的速度,推进理论研究与现实成果的转化,为中国生态工业系统的实践发展提供理论参考,探索适合中国国情的生态工业系统可持续发展之路。全书主要针对生态工业系统的一些主要特征,应用自组织理论、演化博弈理论、种群生态学原理来探究生态工业系统的演化和运行规律,结合典型案例,分析验证理论研究的可行性并指导生态工业系统项目建设实践。

本书的编写是在前人已有的理论与实践成果基础上进行的。同时,本人曾经主持研究和参与研究的相关科研项目,也为本书的编写提供了大量的理论成果与相关佐证资料。本书最大的特点是以系统科学理论为指导,将生态工业的发展与演化过程放在系统的环境下来研究,综合采用了规范理论和实证分析、学术文献和调查访问相结合的研究方法;应用非线性思维和方法来描述、分析、模拟和预测生态工业系统的复杂动态演化行为,取代传统的数理统计方法而成为生态工业系统演化与运行研究的一个全新的视角、工具和方法。

本书兼顾生态工业系统的理论、实践及典型行业案例,具有很强的理论性、可操作性和应用价值,可供环境管理、产业园区管理等部门的公务人员及研究人员进行理论参考和实践指导,也可供高等院校相关专业的师生们参考。

本书在写作过程中参阅了大量文献资料和专著,特向这些资料的作者致谢。在本书的修改定稿和出版过程中,得到很多好友、同事的大力支持和帮助、指导,特此感谢。由于本人水平有限,错误之处在所难免,敬请读者批评指正。另

外，本人也会将有些问题纳入以后的研究实践计划中，从而着手以更前沿的理论体系为指导，进行更深入的生态工业系统的理论研究，并积极参与生态工业系统的建设实践，为推动我国传统产业结构生态化调整，积极探索适合我国国情的生态工业系统可持续发展之路做一些力所能及的贡献。

郭志达

2014 年 10 月 20 日

目 录

第一章 生态工业系统演化与运行的理论基础	1
第一节 生态工业系统的提出和界定	1
一、生态工业系统的一般释义	2
二、本书中的生态工业系统	3
三、生态工业系统演化内涵的界定	4
第二节 生态工业系统的主要特征	5
一、生态工业系统的复杂性特征	5
二、生态工业系统的自组织特征	8
三、生态工业系统的生命性特征	10
第三节 生态工业系统演化的支撑理论	13
一、自组织理论	13
二、演化博弈论	14
三、种群生态学	15
第四节 生态工业系统演化的影响因素	16
一、自然条件——生态工业系统演化与运行的载体	16
二、地理区位——生态工业系统演化与运行的关键	16
三、文化观念——生态工业系统演化与运行的灵魂	17
本章小结	18



第二章 生态工业系统演化与运行的自组织机制	19
第一节 生态工业系统演化的自组织行为	19
一、参与主体之间的交互作用	19
二、学习、搜寻与选择	20
三、“惯例”行为	22
第二节 生态工业系统演化的自组织条件	24
一、开放	24
二、远离平衡态	25
三、涨落	25
四、非线性相互作用	25
第三节 生态工业系统演化的自组织模型与过程	26
一、生态工业系统演化的自组织模型	26
二、生态工业系统演化的自组织过程	40
第四节 丹麦卡伦堡生态工业系统的自组织演化	45
一、丹麦卡伦堡生态工业园的产生背景	46
二、丹麦卡伦堡生态工业园自组织演化的影响因素	47
三、丹麦卡伦堡生态工业园企业链接关系的自组织演变	48
本章小结	54
第三章 生态工业系统演化与运行的协同竞争机制	55
第一节 生态工业系统协同演化的内在动因	55
一、协同竞争是生态工业系统演化的内在动因	55
二、生态工业系统内协同与竞争之间的动态平衡	57
三、生态工业系统内协同竞争行为的特点	59
第二节 生态工业系统协同演化的博弈特性	61
一、参与主体的有限理性	61
二、演化稳定策略的数学概念与含义	62
三、协同演化博弈特性的成因	64

四、协同演化博弈特性的表现	65
第三节 生态工业系统协同演化的动态过程	66
一、生态工业系统协同演化的对称博弈	66
二、生态工业系统协同演化的非对称博弈	74
第四节 表面处理生态工业系统的协同演化	79
一、表面处理行业的基本状况	79
二、表面处理行业的总体环境表现	80
三、表面处理生态工业系统协同演化的动态博弈过程	81
四、建设表面处理生态工业园区实施生态化发展的对策措施	89
本章小结	92
第四章 生态工业系统演化与运行的周期演替机制	93
第一节 生态工业系统周期演替的理论概述	93
一、生态工业系统演化周期的提出和界定	93
二、生态工业系统周期演替的必然现实	94
第二节 生态工业系统周期演替的特性分析	95
一、生态工业系统周期演替的生命特性	95
二、生态工业系统的自组织与他组织复合特性	96
三、生态工业系统演化与运行的复合现实图景	97
第三节 生态工业系统周期演替的 Logistic 规律	98
一、生物种群与生态工业系统	99
二、生态工业系统周期演替的 Logistic 增长模型	99
三、生态工业系统周期演替的 Logistic 增长的阶段划分	107
四、影响生态工业系统发展演化轨迹的因素	115
五、生态工业系统的整体持续演化规律	119
第四节 中国生态工业体系周期演替的前景预测	123
一、中国生态工业体系周期演替的主要特征	123
二、中国生态工业体系周期演化趋势的预测分析	125

三、中国生态工业体系建设与发展的政策建议	128
本章小结	131
第五章 案例分析与对策思考	132
第一节 H 市表面处理生态工业园项目的现状分析	132
一、H 市表面处理生态工业园项目的提出	132
二、H 市表面处理生态工业园项目的背景	134
三、H 市表面处理生态工业园项目的市场分析	136
四、H 市表面处理生态工业园项目的运作模式	138
第二节 H 市表面处理生态工业园项目的规划目标	139
一、H 市表面处理生态工业园项目的总体规划	139
二、H 市表面处理生态工业园项目的发展目标	140
第三节 H 市表面处理生态工业园项目运行的指导原则	141
一、注重对 H 市表面处理生态工业园内关键种企业 （核心参与企业）的培育	141
二、积极调整并规范 H 市政府相关管理部门的他组织行为	142
三、健全 H 市表面处理生态工业园项目的配套服务体系	143
第四节 H 市表面处理生态工业园项目运行的基本对策	145
一、政府应避免过度干预，提供公平有序的 H 市表面处理 生态工业园发展环境	145
二、规范 H 市表面处理生态工业园内参与企业的进入和退出机制， 提高园区系统的复杂性，增强园区系统的稳定性	146
三、充分利用外资，加强国际合作	147
四、建立和完善产学研协同合作机制	148
五、防止好高骛远，避免不切实际的理想主义	148
本章小结	149
参考文献	151
后 记	156

第一章

生态工业系统演化与运行的 理论基础

在全球可持续发展的时代背景下，传统工业系统正在进行产业结构生态化调整，生态工业系统模式应运而生。生态工业系统作为构成国民经济系统的基本单位，其动态演化问题将成为一个研究焦点，运行机制问题又是系统演化的核心问题。这里，先明确生态工业系统的概念、特征等方面的基础问题，然后再进行生态工业系统演化规律与运行机制理论的相关研究。

第一节 生态工业系统的提出和界定

生态系统是指在一定时空范围内，由生物成分与非生物成分通过能量流动、物质循环与信息传递而互相联系、互相影响、互相依存构成的一个具有自调节与自组织功能的复合体。自然生态系统作为一个有机整体是由若干个生态链组成的，它们相互耦合能够把废物减少到最低限度，维持生态平衡。在自然生态系统

内, 代谢物质和系统能量在一系列相互作用的生物有机体之间不断地循环。生态工业系统的提出就是基于自然生态系统的演变原理, 反思传统、线性、机械的工业发展模式, 对难以为继的技术、管理与观念等进行可持续发展创新与再造, 对人与自然和谐关系在认识上不断突破的结果。

一、生态工业系统的一般释义

定义往往概括了某个概念的本质, 因此理解概念最好从定义着手。但是, 生态工业系统是刚刚出现的新概念, 与其他产业部门之间的渗透性比较深, 有着相当的模糊性, 故人们对它的内涵和外延的认识并不完全一致, 目前, 关于生态工业系统, 学者各自研究背景与研究对象不同, 加之人们理解和阐述的角度也不尽相同, 生态工业系统还没有形成一个统一的定义。

生态工业系统概念由 Robert Frosch 于 1989 年首次提出, 但运用生物学或生态学的知识来研究经济和管理问题却早已有之。虽然不同的学者的研究思路 and 角度不尽相同, 但基本思想还是比较一致的, 即用生态学原理调整传统工业系统结构, 转变经济增长方式, 强调企业进行生态创新、相互关联的企业之间组建生态工业链 (网) 并与外部环境连接形成生态工业系统, 是人们基于可持续发展理念对传统工业系统结构生态化调整的认识不断深化的一个重要成果。还有一些研究指出, 生态工业系统是依据清洁生产要求和循环经济理念及工业生态学原理而建立的一种新型工业系统, 生态工业系统是循环经济在工业领域一定区域层次的具体体现。当然, 对它的表述也因不同学者而有所不同, 总而言之, 本书把生态工业系统的边界界定在生态工业园 (Eco-industrial Park, EIP)、副产品交换 (By-product Exchange, BPX)、生态工业网络 (Eco-industrial Network, EIN) 几种生态工业系统的具体物化载体范围内。

基于社会—经济—自然复合生态系统的观点, 生态系统包括自然生态系统, 还包括以三大产业为基础的复杂社会经济系统。生态工业系统从外部环境中获取资源与能源, 生产出产品供社会消费, 同时向外部环境输出工业废弃物。所以, 生态工业系统可看作社会—经济—自然复合生态系统的—个子系统 (人工生态系



统),是由若干企业实体与虚拟组织组成的生产与运作企业联合体。它兼具自然与社会两方面的属性:首先,从自然属性来看,工业系统作为社会—经济—自然复合生态系统的重要组成部分,既是社会—经济—自然复合生态系统持续发展的重要力量,又是社会—经济—自然复合生态系统可能遭受毁灭的主要力量。工业系统整体及系统内的行为体(包括人与组织)的行为不能违背自然生态系统的基本演变规律,应该受自然条件的负反馈约束与调节。其次,从社会属性来看,工业系统内的行为体(包括人与组织)之间的关系是一种复杂利益关系,存在很强的外部性,他们为了自身利益最大化,往往会通过创造性破坏整个生态系统的平衡。因此,生态工业系统的演化与运行强调系统成员之间要建立一种信任的伙伴关系,通过物质、能量、信息等交流形成各成员相互受益的共生网络,按照自然法则进行设计,并最终实现经济、社会 and 环境的和谐发展。

二、本书中的生态工业系统

本书中的生态工业系统包含上述一般意义上的生态工业系统的含义,但又不僅僅局限在上述定义的范畴。本书将生态工业体系视为一个系统,从哲学的角度加以分析,阐明只有在系统观念、时空观念、生态效益观念以及和谐共生观念的指引下,才能确保生态工业系统与外部系统的共生共荣,从而实现整个社会的可持续发展。本书中的生态工业系统内存在与自然生态系统相类似的结构,即个体—企业、种群—同类型企业、生物群落—某区域范围内的工业体系、自然生态系统—工业体系与外部环境构成,而且自然生态系统内各个种群间的作用关系几乎都可以形象地描述生态工业系统内企业间的关系。

本书中的生态工业系统,既可以作为一个名词理解,指生态工业系统这样一个具有特定结构、行为机制与组织形式的经济系统本身,或者更具体地指某一生态工业系统的实践形式或者物化载体(比如生态工业园),也可以作为一个动词理解,指一个工业系统在内外因素的作用之下达成某种运行结果的行为过程。因此,本书中的生态工业系统概念是多层面、多角度的。



三、生态工业系统演化内涵的界定

鉴于以上对生态工业系统概念的界定，在本书中，作者将演化概念引入生态工业系统运行过程进行研究，提出生态工业系统演化的内涵，并将系统科学有关系统演化的研究成果应用于生态工业系统演化规律与运行机制的研究。所谓演化，可以理解为由无序到有序或由较低级有序向较高级有序这样一种特定方向的演变过程，其中的“序”指的是对发生关系的诸因素之自由度加以约束而形成的相应关系的规则性。对于生态工业系统来说，演化意味着创新，具体体现在系统更有活力、结构更复杂、面对变化的抵抗力和恢复力更强等。

中国对于生态工业系统演化问题的研究主要是从较宏观的角度出发（有时被视为一个“中观”经济层面的问题），同宏观经济结构相联系进行研究；而在新古典经济学体系之下，对于生态工业系统演化问题通常是从微观运行角度进行考察，产业的基本组成单位——企业个体的市场行为是研究的出发点。

这里将以传统工业系统结构生态化调整和上文对生态工业系统概念的界定为基础，对生态工业系统演化的内涵进行界定。生态工业系统演化是指传统工业系统在多种因素的作用下，针对资源枯竭、生态恶化与可持续发展矛盾日益激化等各国工业的发展现状，综合考虑工业系统的经济效益、社会效益和生态效益，基于低碳经济、循环经济理念的传统工业系统的生态化演变过程，表现在系统对生产过程中所产生的废物或副产品等物质及能源在不同的产业或企业间的合理利用与循环，是生态工业系统在结构上的整体性、在功能上的综合性以及在动力上的内生性的演化，是具有实践意义的、可持续的工业发展模式。也就是说，类似于自然生态系统，生态工业系统的演化是内部自组织力量与外部环境选择相结合的产物。其中自组织是内部机制，是根本动力，而环境选择是外部机制或者称为他组织机制，是约束动力。

本书关于生态工业系统演化内涵的界定是在当前背景之下为解决实际问题所需而确定的，并不刻意预设为宏观或微观，而旨在强调生态工业系统的演化过程（以系统组织结构的变迁和系统功能演变为主要表现），是一个由内部因素决定



的自组织过程和外部环境因素推动的他组织过程复合而成的周期演替过程。因此，本书采取的是一种联系微观与宏观的角度，同时涉及生态工业系统状态与组织形式演变。

第二节 生态工业系统的主要特征

上节对生态工业系统概念的提出和界定，体现了生态工业系统是一个充满矛盾的统一体。生态工业系统实践的蓬勃发展，会使我们对生态工业系统的演化规律与运行机制有更多的了解。为此，生态工业系统中的一些特征逐渐展现出来，这些特征也反映了生态工业系统演化与运行过程的复杂性，归纳起来主要包括以下几点：

一、生态工业系统的复杂性特征

1. 生态工业系统的多样性

多样性的概念源于自然生态系统。自然生态系统之所以能长期存在就在于它的物种、关系和信息的多样性，多样性的存在确保了生态系统具有较高的柔性和适应性，成为生态系统能够在不断变化的环境条件下得以长期维持的重要保证。多样性也是建设工业生态链（网）结构的基础。生态工业系统的多样性包括两层含义：

（1）系统成员种类的多样性。简而言之，就是在一个生态工业系统中存在许多不同类型的企业，不同类型的企业在物质、能量利用上存在差异性和互补性，为物质、能量和信息交换以及废弃物的再生利用创造可能。

（2）系统要素的多样性。即影响生态工业系统的因素众多，例如资源、能源、投资、政策、市场等。生态工业系统的发展不仅仅是企业之间的物质交互，

还需要企业与其环境在要素之间的协调与合作。如图 1-1 所示的生态工业系统网络结构模型，概括了与生态工业系统发展紧密关联的十项要素，这也说明生态工业系统的建设是一项非常复杂的协调工作，具有多样性。

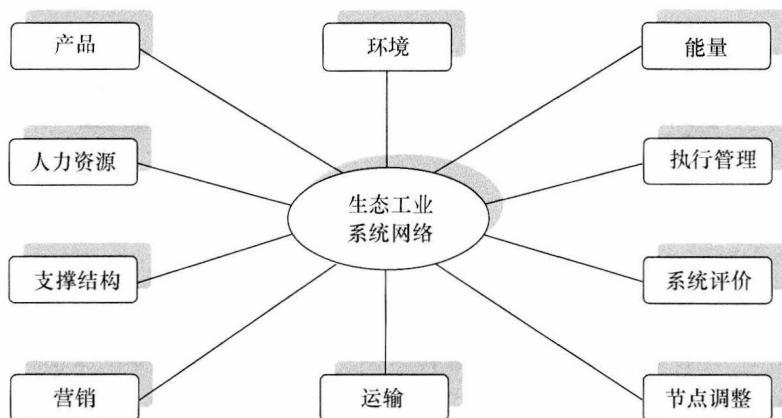


图 1-1 生态工业系统网络结构

2. 生态工业系统的自主性

企业、政府、市场和消费者本质上都是由人构成的行为实体，而生态工业系统演化与运行的各个环节其实都有人的参与。因此，生态工业系统内的诸多成员都有着强烈的自主性与能动性。生态工业系统内各个成员的行为都有明确的目的性，拥有自身的行为特征与自主决策能力，他们会根据外界环境的变化或刺激，结合自身所掌握的信息与知识做出相应的反应，具有应激特性。系统成员的自主性，使得采用传统的自上而下的规划方法来建设生态工业园项目面临较大的利益挑战和信任难度。对自主性的合理表达及伙伴关系有效整合是生态工业系统理论研究和实践建设过程中必须考虑的一个问题。

3. 生态工业系统的开放性

众所周知，工业系统是一个开放系统，它从自然界开采资源，将产品供给社会，同时将污染物排向自然环境。这使得工业系统与自然环境之间的关系不断恶化，而社会也难以保持可持续发展。生态工业系统则正是要使这种相互作用朝良



性的、可持续的、和谐的方向发展。生态工业系统的开放性要求我们在考察传统工业体系时，不能仅仅将目光局限于工业系统本身，而必须站在一个更高的层次，将工业系统和它所处的环境看作一个有机整体，从生态全息论的高度来建立一种生态整体观，把所有层次统一起来。通过转变人类的工业经济活动方式，改善环境影响，提高资源利用方式，转变人们的观念，实现经济效益、环境效益和社会效益的统一。并且生态工业系统中的企业成员个体不再是孤立封闭的个体，而是具有开放性并与其他成员有着伙伴关系的全息个体。

生态工业系统作为一个开放系统，不断与外界环境发生着物质、能量、信息等方面的交换。生态工业系统的开放特性造成影响系统运动的因素的增加，生态工业系统运动变量的增加也在客观上形成了生态工业系统的复杂性，生态工业系统的开放特性使得生态工业系统的演化与运行过程必然处在一个开放条件下，任何封闭的系统必将走向无序或者死亡，生态工业系统的开放特性是生态工业系统发展与演化的固有特征，又是形成生态工业系统复杂特性的基本条件。因此，在生态工业系统演化与运行的研究中，切不可把生态工业系统视为一个封闭系统，忽视外界因素的影响。

4. 生态工业系统的非线性

生态工业园区的发展与演化过程是动态的，必然有成员的更新、调整和淘汰，成员间的合作伙伴关系也需要经过一段时间的磨合和适应。可见，生态工业系统是一个典型的复杂非线性动力学系统，系统中各个要素或者子系统存在着普遍非线性的相互作用。在生态工业系统中，任何一个要素或者子系统的变化都不会只受另外一个因素或者子系统的单一影响，而是受到了多种因素或者各个子系统伙伴关系的综合作用，这些影响中有的是促使其生长的正反馈效应，有的则是负反馈效应。此外，单一影响因素的变化，在一些关键时刻也往往会“牵一发而动全身”，引起一连串的连锁反应，如生态工业系统中某一生态工业链的断裂，经过系统内外的非线性相互作用的逐步放大，必然会引起系统整体的涌现变化，最终会对生态工业系统造成巨大的破坏，这就是所谓的“蝴蝶效应”；在对外界激励的响应上，生态工业系统则表现出与外界激励目的有本质区别的行为和结