

产业生态工程丛书

CHANYE SHENGTAI GONGCHENG CONGSHU

FANGZHI CHANYE
SHENGTAI GONGCHENG

纺织产业 生态工程

樊理山 张林龙 编



化学工业出版社

产业生态工程丛书

纺织产业生态工程

樊理山 张林龙 编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书系统介绍了国内外纺织产业生态工程发展的现状,重点介绍了纺织产业中的生态工程技术,突出地介绍了纺织产业生态工程领域的许多案例,运用生态工程技术将纺织产业作为一个复合生态系统来对待。

本书共分五章,包括产业生态系统与生态工程概述,纺织产业生态系统与纺织产业生态工程概述,纺织产业生态评价与可持续发展,纺织产业生态加工技术,纺织产业生态工程典型案例分析。

本书既有系统的理论阐述,又有大量的案例分析,可作为生态工程、环境科学、纺织工程以及相关企业的科技人员和其他人士的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

纺织产业生态工程/樊理山,张林龙编. —北京:化学工业出版社, 2011.8

(产业生态工程丛书)

ISBN 978-7-122-11563-8

I. 纺… II. ①樊…②张… III. 纺织工业-生态工程-研究 IV. TS1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 117936 号

责任编辑:夏叶清
责任校对:徐贞珍

文字编辑:汲永臻
装帧设计:周 遥

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京云浩印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张13¼ 字数270千字 2011年10月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:48.00 元

版权所有 违者必究

丛书前言

2009年12月19日，联合国气候变化大会在丹麦哥本哈根闭幕，各国经过艰苦谈判所达成的《哥本哈根协议》具有积极意义。大多数国家都认识到气候变化问题的严重性，都表示要在应对气候变化问题上承担各自的责任。我国近年来鼓励并重点投资开发包括生物质能在内的新能源，结合生态工程技术，大力开发清洁项目，采取多元化的路径，力争在一段时间内实现减排的承诺，为人类作出应有的贡献。

对于我们这样一个拥有超过13亿人口的大国来说，尽量做到资源的最大节约和污染物的资源化利用，已成为我国调整产业结构、建设生态文明的必然追求；在这样的背景下，介绍产业生态工程原理与各种产业生态工程技术的应用该领域科学家责无旁贷。我们有理由相信，“产业生态工程”丛书的应运而生将为我国在不久的将来“基本形成节约能源资源和保护生态环境的产业结构、增长方式、消费模式”提供科学技术支撑。

新能源的研发是涉及我国国家安全的重要战略举措，生物质能是新能源中的重要类别。然而生物质能的研发触及原料、成本、国家政策等多项瓶颈，发展陷入尴尬境地，某些方向甚至举步维艰。《生物质能产业生态工程》提出一崭新的路线图：运用生态工程技术将生物质能的开发统筹为一个复合生态系统来对待，分层多级消化生物质能，提高产品附加值和系统的综合效益，有利于克服发展瓶颈，走出具有中国特色的生物质能产业化的新路。本书重点介绍了生物质能产业化中的生态工程技术，分析了瓶颈和应对措施。

《发酵生态工程》不仅植根于食品工业，而且越来越多地应用于污染物的治理和废弃物的资源化利用，有利于我国发展低碳经济和建设资源节约型社会。该书从产业生态工程的角度阐述发酵过程的优化控制，发酵副产物的综合利用和资源化技术，在传统发酵工程上延长产业链，提升发酵产业的生命周期，开发新的生长点，有利于帮助相关产业提升发展水平和综合效益。

我国人口众多，人均水资源占有量仅为世界的1/4。而且，随着经济的快速发展，用水量剧增，污水排放量也相应增加，从而导致我国资源性缺水 and 水质性缺水日益加剧，严重制约了我国经济的可持续发展。《污染水体生物治理生态工程》系统介绍了国内外污染水体的生物治理情况和生态修复的各种方法，特别突出地介绍了作者在淡水渔业养殖水体水质改良方面的多年研究实例，这将对我国水体污染的治理、养殖水的达标排放起到借鉴作用。

我国水产养殖的规模已经稳居世界第一，运用生态工程技术指导水产养殖已广为水产养殖界所追求。《特种水产养殖》介绍了以食物链（网）为主要技术路线的综合生态工程技术，指导水产养殖，涉及不同的第一性生产者、初级消费者、清道夫和终极产品

等重要角色，投入不同的养殖模式中，以达到高效、高产和高质的目标。本书所介绍的生态工程技术已在全国许多地区的黄鳝、泥鳅和小龙虾生态养殖中取得了巨大的经济效益。

由于沿海地区的高强度开发，人为干扰给沿海滩涂系统带来的危害日趋加大。《滩涂产业生态工程》介绍了国际沿海滩涂生态系统的保护、管理及开发的历史和实践；针对我国丰富的滩涂资源及演化的特点，着重介绍了典型滩涂生态系统的生态工程及相关技术，分析了滩涂资源的类型、质量、价值，比较了多种开发模式的特性；并且探讨了高强度开发下滩涂生态系统的保护和利用的关系，以及在未来产业发展过程中的可持续性。

有机农业成为农业可持续发展和保障食品质量安全的重要形式，《有机农业技术与有机食品质量》作者根据近 20 年的从业经验，总结和提炼了不同种类的有机种植与养殖技术，同时阐述了有机食品的质量和人类健康的关系。本书不仅有益于有机农业生产者提高其生产技术水平，也有利于广大消费者了解有机食品的品质，而且有助于决策者全面了解有机农业的环境与社会效益，从而进一步支持和推动我国有机农业产业的发展。

土壤微生物生态工程在生态农业建设、污染土壤生态修复、矿山复垦以及海滨盐土改良等方面起着日益重要的作用。土壤微生物生态工程，主要是通过向土壤中接种微生物功能群物种或改良土壤环境以刺激微生物的生长繁殖，从而改善土壤环境、减少土传病害、降解土壤中的污染物以及加快土壤生态恢复。《土壤微生物生态工程》一书系统介绍了国内外土壤微生物生态工程的基本原理及其在生态农业、环境修复、海滨盐土改良、矿区复垦等方面的作用。

由于缺乏科学的育种、筛选及与之相适宜的栽培技术和管理模式，不能充分发挥品种的产量和品质潜力，严重制约花卉、苗木、园林、特色农业与生态修复等产业的发展。因此，系统介绍了多种经济植物的选育、栽培（包括组织培养）等技术和方法，尤其突出以优质高产为目标，兼顾高效、生态和安全的生态工程模式为案例，是《特种经济植物产业生态工程》一书的特色，将为区域生态建设、生态恢复和发展多种经营提供技术指导。

运用生态工程技术将纺织产业作为一个复合生态系统来对待，分层多级消化生物质，提高产品附加值和系统的综合效益，克服发展瓶颈，走出具有中国特色的纺织工业发展新路。《纺织产业生态工程》系统介绍了国内外纺织产业生态工程发展的现状，重点介绍了纺织产业中的生态工程技术，突出介绍了纺织产业生态工程领域的许多案例，这将为我国纺织产业的可持续发展提供很好的借鉴。

本丛书的作者都是在生态工程领域富有经验、有所积淀的第一线科技工作者。九本产业生态工程方面的论著汇集成套，不仅集中介绍了国内外产业生态工程发展的最新进展，阐述了九个领域和相关产业的生态工程关键技术，还展现了代表作者科研成果亮点的重要案例；有利于推动我国产业生态工程学科的发展和科技开发，也有助于提升相关

产业的科技水平和综合效益。本丛书的成套性不是产业生态工程学科的集大成，但确实是该学科九个领域的知识与成果集锦。请读者仔细品读，如果发现其中的瑕疵和遗漏，请不吝赐教，我们将虚心听取您的批评，认真改进。

钦佩

2010 年 11 月 28 日

前 言

纺织产业既是一个具有悠久历史的传统产业，也是一个永续产业。在中国，纺织产业更是一项民生产业，它涉及十三亿人的穿衣，二千万人的就业，它与人们的日常生活密切相关。

中国是纺织大国，其纺织品生产能力位列全球第一，但中国还不是纺织强国，其在高效优质低耗自动化智能化纺织设备的装备，纺织原料资源的开发与利用，纺织清洁化生产技术应用，废弃纺织品与印染废水循环利用等方面与国际先进水平相比仍有一定的差距。

目前，中国的纺织产业发展正面临资源不足，能耗高，排污大等问题，对我国的生态环境带来了极大的压力。而把纺织产业系统作为一个复杂的自然-社会-经济复合生态系统，从生态学的视角来审视纺织产业的发展，积极实施纺织产业生态工程是克服纺织产业发展瓶颈，实现纺织产业的可持续发展的有效措施。

本书从纺织产业生态工程概念、基本原理，实施路径、生态评价与可持续发展等方面加以阐述，并结合典型案例分析，较系统地论述了纺织产业生态工程的内涵。

本书是钦佩教授主编的《产业生态工程丛书》中的一本，由樊理山博士提出写作大纲并进行最后统稿和润色。本书包括产业生态系统与生态工程概述，纺织产业生态系统的特点与纺织产业生态工程的发展，纺织产业生态评价与可持续发展，纺织产业生态加工技术，纺织产业生态工程典型案例分析。本书中，第一章、第二章、第三章和第五章由樊理山编写；第四章的原料高效生产、清洁化生产及循环利用部分由王华印编写；第四章的纺纱高效生产、清洁化生产及循环利用部分由周彬编写；第四章的织造高效生产、清洁化生产及循环利用部分由位丽编写；第四章的印染高效生产、清洁化生产及循环利用部分由封怀兵编写；第四章的天然染料与节约环保型纺织化学品部分由张林龙编写。

特别感谢我的导师钦佩教授，本书是在他的指导与督促下进行的，他在百忙之中为本书的编写付出了辛勤的劳动。本书的写作参考了许多参考资料，在此特向这些参考资料的作者表示衷心的感谢。

由于时间仓促和作者水平有限，本书存在许多不足之处，敬请读者批评指正。

樊理山

2011年4月6日

目 录

第一章 产业生态系统与生态工程概述	1
第一节 产业生态系统的概念	1
第二节 产业生态学的基本原理及其研究内容	2
一、产业生态学基本原理	2
二、产业生态学的研究领域与内容	6
三、生态产业	9
第三节 生态工程的原理、方法与模式	10
一、生态工程的概念	10
二、生态工程基本原理	10
三、生态工程的模式	12
四、工业生态工程	13
第二章 纺织产业生态系统的特点与纺织产业生态工程的发展	17
第一节 纺织产业在国民经济中的作用、地位及特点	17
一、纺织产业在国民经济中的作用、地位	17
二、纺织产业的特点	19
第二节 纺织产业生态系统的组成	19
第三节 纺织产业生态工程的发展及其实施路径	23
一、纺织产业生态工程及其发展	23
二、纺织产业生态工程的实施路径	23
第三章 纺织产业的生态评价与可持续发展	25
第一节 生态评价概述	25
一、能值分析法	25
二、生命周期评价法	33
第二节 纺织产业的生态现状与评价	39
一、纺织产业的生态现状	39
二、纺织产业生态评价	51
第三节 纺织产业生态容量与可持续发展	54
一、纺织产业生态容量与生态足迹	54
二、纺织产业可持续发展	56
第四节 纺织产业生态工程评价	57
一、生态工程的评价指标	57

二、生态工程评价的方法	60
第五节 生态纺织品标准	63
一、生态纺织品标准与 Oeko-Tex Standard 100	63
二、2010 年 Oeko-Tex Standard 100 与 GB/T 18885—2002 的差异	67
三、Eco-Label 的新标准及其与 Oeko-Tex Standard 100 的对比	68
第四章 纺织产业的生态加工技术	77
第一节 纺织产业的高效生产	77
一、化纤的高效生产	77
二、纺纱的高效生产	78
三、织造的高效生产	83
四、印染的高效生产	88
五、针织的高效生产	91
六、非织造的高效生产	91
第二节 纺织产业的清洁化生产	92
一、纺织加工过程中产生的污染	93
二、纺纱与织造工序的清洁化技术	95
三、印染工序的清洁生产	98
第三节 发展与应用节约环保型纺织化学品	114
一、环保型浆料	114
二、节约环保型染料	116
三、节约环保型助剂	133
第四节 纺织产业的循环利用	143
一、再生纤维素纤维开发与利用	143
二、再生生物质纤维开发与利用	150
三、再生合成纤维开发与利用	162
四、纺织厂的回丝及化纤厂的废丝的开发利用	164
五、印染废水综合治理与利用	164
第五章 纺织产业生态工程案例分析	169
第一节 海滨锦葵茎皮纤维的开发	169
一、海滨锦葵概述	169
二、海滨锦葵茎皮纤维的成分、结构与性能分析	170
三、海滨锦葵茎皮纤维开发的生态意义	176
第二节 蓖麻蚕茧的养殖与纺织品的开发与利用	177
一、蓖麻蚕茧概述	177
二、蓖麻蚕茧的脱胶加工技术	181
三、蓖麻蚕茧开发的生态意义	181

第三节 汉麻综合加工利用..... 181

 一、汉麻概述..... 181

 二、汉麻的开发利用..... 182

第四节 无梭织机废弃纱的循环利用..... 184

第五节 纺织产业生态工业园的模式与建设..... 187

 一、南海国家生态工业示范园区..... 187

 二、纺织-煤电联合生产工业园 189

 三、工农联合生产..... 190

 四、纺织-化工联合生产 191

参考文献..... 192

第一节 产业生态系统的概念

产业是指生产物质产品的集合体，包括农业、工业、交通运输业等部门，一般不包括商业。有时专指工业，有时泛指一切生产物质产品和提供劳务活动的集合体。

20 世纪 20 年代，国际劳工局最早对产业做了比较系统的划分，即把一个国家的所有产业分为初级生产部门、次级生产部门和服务部门。后来，许多国家在划分产业时都参照了国际劳工局的分类方法。在中国，产业的划分是：第一产业为农业，包括农、林、牧、渔各业；第二产业为工业，包括采掘、制造、自来水、电力、蒸汽、热水、煤气和建筑各业；第三产业分流通和服务两部分。

产业在产业经济学中有三个层次：第一层次是以同一商品市场为单位划分的产业，即产业组织，现实中的企业关系结构在不同产业中是不相同的。产业内的企业关系结构对该产业的经济效益有极其重要的影响。第二层是以技术和工艺的相似性为根据划分的产业，即产业联系。各个产业部门通过一定的经济技术关系发生着投入和产出，即中间产品的运动，它真实地反映了社会再生产过程中的比例关系及变化规律。第三层次是大致以经济活动的阶段为根据，将国民经济划分为若干大部分所形成的产业，即产业结构。

产业内的各组成部分既相互联系，又相互作用，构成具有一定结构和功能的、有机的统一整体，即为产业系统，而产业内的各个组成部分又由若干要素构成，形成次级系

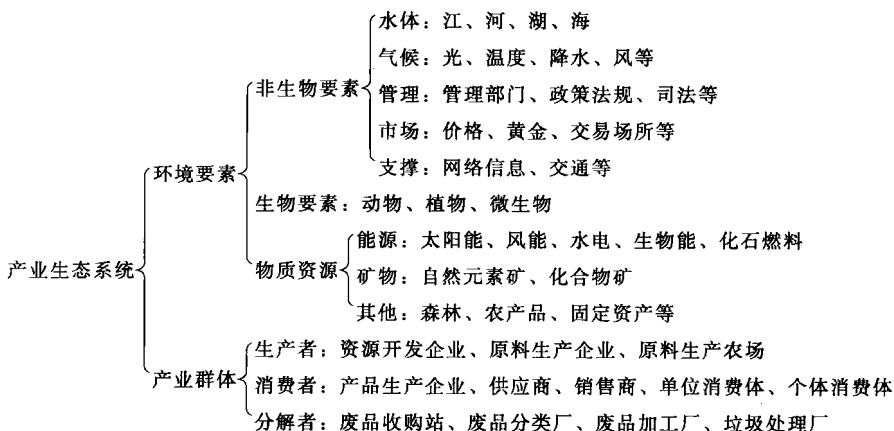


图 1-1 产业生态系统组成

资料来源：施晓清. 产业生态系统及其资源生态管理理论研究. 中国人口资源与环境, 2010.

统或子系统。

产业生态学则是把产业系统视为一类特定的生态系统加以研究而形成的一门学科。

同自然生态系统一样，产业生态系统首先是物质、能量和信息流动的特定分布，同时完整的产业系统有赖于由生物圈提供的资源和服务。产业生态系统的核心是使产业体系模仿自然生态系统的运行规则，实现人类的可持续发展。产业生态系统的组成如图 1-1 所示。

第二节 产业生态学的基本原理及其研究内容

一、产业生态学基本原理

产业生态学是生态学的一个分支，将生态学的一般原理应用到产业生态学上，即为产业生态学的基本原理。产业生态学的基本原理有以下几种。

（一）生态位原理

每一企业、地区或部门的发展都有其特定的资源生态位，成功的发展必须善于开拓资源生态位和调整需求生态位，以改造和适应环境。

（二）竞争共生原理

系统的资源承载力、环境容纳总量在一定的时空范围内是恒定的，但其分布是不均匀的。差异导致竞争，竞争促进发展，优胜劣汰是自然及人类社会发展的普遍规律，每一系统都有主导的利导因子和限制因子。资源的稀缺性导致系统内的竞争和共生机制。这种相生相克作用是提高资源利用效率、增强系统自组织能力、实现持续发展的必要条件。缺少其中任何一种机制的系统都是没有生命力的系统。

（三）反馈原理

复合生态系统的发展受两种反馈机制控制：一种是作用和反作用相互促进、相互放大的正反馈，导致系统的无止境增长或衰退；另一种是作用和反作用相互抵消的负反馈，使系统维持在稳态附近。系统发展初期或崩溃期一般正反馈占优势，成熟期负反馈占优势。持续发展的系统中正负反馈机制相互平衡。

（四）补偿原理

当整体功能失调时，系统中某些组分会乘机上升为主导组分，使系统发生歧变；而有些组分则能自动补偿或替代系统的原有功能，使整体功能趋于稳定。

（五）循环再生原理

世间一切产品最终都要变成其功能意义上的废物，而世间任一废物必然成为生物圈中某一生态组分或另一生态过程的原料或缓冲剂，人类一切行为最终都要反馈到作用者本身，或有利或有害。物资的循环再生和信息的反馈调节是复合生态系统持续发展的根本动因。

（六）多样性主导性原理

系统必须以优势组分和拳头产品为主导，才会有发展的实力，必须以多元化的结构和多样化的产品为基础，才能分散风险，增强稳定性。主导性和多样性的合理匹配是实现持续发展的前提。

(七) 生态发育原理

自然生态系统有趋于成熟的倾向，即“进化”，在进化过程中，生态系统由简单的状态变为较复杂的状态，这种定向性的变化称为演替（succession）。自然生态系统进化的模式为我们提供了认识现代产业体系和思考其发展的理论基础和视角。产业生态学理论的主要探索者之一勃拉登·阿伦比（Braden R. Allenby）提出了一套产业体系“三级生态系统的进化理论”，并提出了理想的产业模式。

1. 一级生态系统

在生态系统形成的最初阶段，生态系统组成与结构是简单的（甚至是单一的），物质与能量资源的消耗量低。相对于生命主体，地球环境中潜在的资源是无限的，生命形式生长代谢而产生的废物也是无限的。资源在单一的生态系统组成部分中的流动是线性的，在这样的条件下，生命的繁衍在相当长的时期内得以保障。Allenby 将这种运行方式命名为一级生态系统中线性的物料流动，可以用图 1-2 表示。

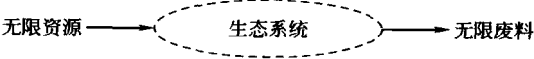


图 1-2 一级生态系统示意图（T. E. Graedel, B. R. Allenby, 1995）

2. 二级生态系统

随着生态系统的进化，生态系统的组成和结构趋向复杂和庞大，环境负荷增加，资源相对耗竭，这使得生命体相互之间的联系变得更为紧密，由此形成更为复杂的物质与能量流动网络。在此系统中，物质和能量流动限制在系统附近区域，物质与能量的流动量可以很大，但流入和流出该区域的资源和废物非常少。这就是所谓的二级生态系统中准循环性的物料流动（见图 1-3）。

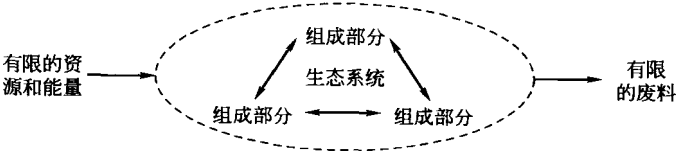


图 1-3 二级生态系统示意图（T. E. Graedel, B. R. Allenby, 1995）

二级生态系统较一级而言更有效率，但从长远来看，因为物质与能量流动的方向是单一的，其结果必然是资源不断减少和废物不断增加，仍未实现物质与能量的循环利用，显然也不具有可持续性。因此，在二级生态系统内部资源和废物的进出量则受到资源数量与环境容量的共同制约。与自然生态系统相比，现代工业系统在很大的程度上属于一级生态系统向二级生态系统过渡的模式，主要表现在以下几个方面：①工业系统利用物质与能量的有限性；②物质与能量流动的简单网络化；③工业系统的废物很少回收

利用。

3. 三级生态系统

自然生态系统的进化最终将以完全循环的方式运行，资源与废物只是不同生产环节的相对概念，某一过程的代谢废物是另一过程的资源，整个生态系统与外部的联系就只有吸取外部的太阳能。这样的运行方式称作三级生态系统中循环性物料流动（图 1-4）。在这样的生态系统内，物质与能量的流动复杂而活跃，但整个系统受太阳能驱动，物质来源于系统本身，又消化于系统本身，被充分利用而没有废物产生。这种生态学类型的物质与能量循环在时间尺度和空间规模方面与一级或二级生态系统都有较大的差异。

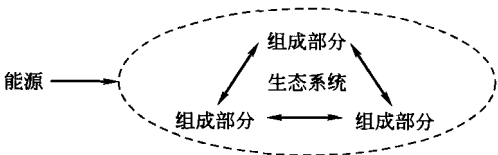


图 1-4 三级生态系统示意图（T. E. Graedel, B. R. Allenby, 1995）

4. 理想产业系统

Allenby 提出理想产业系统应包括四类基本组成：资源开采者，处理者（制造商），消费者和废料处理者（图 1-5）。

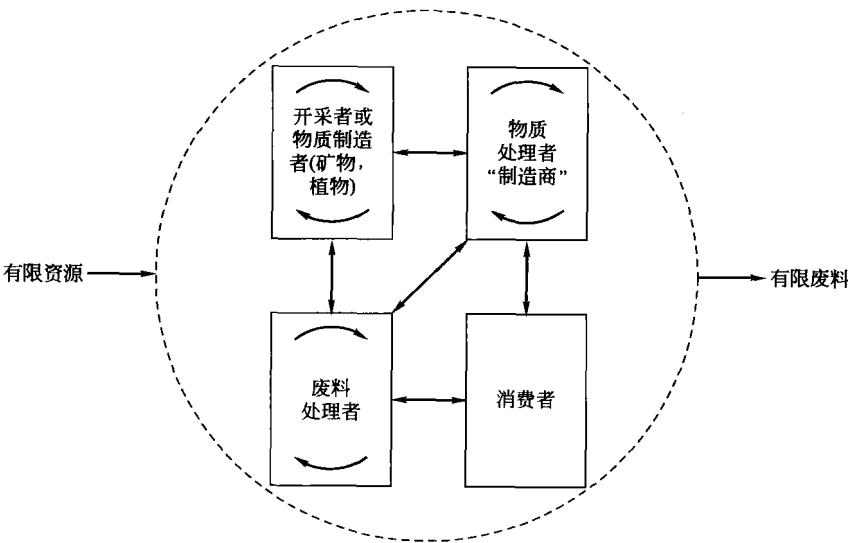


图 1-5 理想产业系统的模式（T. E. Graedel, B. R. Allenby, 1995）

人类难以持续发展是因为人类活动已经严重地破坏了人类生产系统与自然界之间的相容性，超出了自然环境的承载力。如果工业系统的“废物”能够纳入自然界的物质循环链条，并且能生产工业系统的原料，那也可以维持工业系统与环境的相容性。因此，产业生态学的观点认为，理想的产业系统应尽可能接近三级生态系统并与地球自然生态系统这个更大的三级生态系统相容。

5. 社会-经济-自然复合生态系统 (SENCE)

马世骏于 1987 年提出了社会-经济-自然复合生态系统，即是以人为主体的社会经济系统和自然生态系统在特定区域内通过协同作用而形成的复合系统，即从宏观层次上讲，它的组成要素包括社会子系统、经济子系统和自然子系统。这三个要素相互联系、相互作用和相互制约，形成了一个稳定的结构，缺一不可，在物质、能量、信息的交换与流通过程中，形成具有一定结构和功能的复杂系统。复合系统中人类社会及其组织、技术和文化称为生态核，是 SENCE 的控制机构，处于核心圈；第二圈是人类活动的直接环境，包括地理环境、人工环境和生物环境，称为生态基；外围第三圈是 SENCE 的外部环境，包括源、汇、仓，是外部支持系统，称为生态库。三个圈层之间既相互促进，又相互抑制。复合系统的功能包括社会功能、自然功能、经济功能，三类功能相生相克构成复杂的生态关系。

在对复合系统的研究过程中，马世骏提出了以下生态控制论公理：①循环原则，世间一切产品最终都要变成废物；任一废物必是对生物圈中某一组分有用的“产品”。②生克原则，一切有生命力的生物都通过竞争夺取资源，求得生存发展；通过共生节约资源，求得持续稳定。缺乏其中任何一种生克机制的种都是没有生命力的种，必然会被其他物种战胜或取代。③平衡原则，一切生物的发展都既有限制因子又有促进因子作用，过程稳定的生态系统中，正负反馈机制相互平衡。④自适应原则，一切生物都有抓住机会尽快发展和力避风险的战略战术。

在此基础上，王如松提出产业复合生态系统，深化和扩展了复合生态系统的研究范围。见图 1-6。

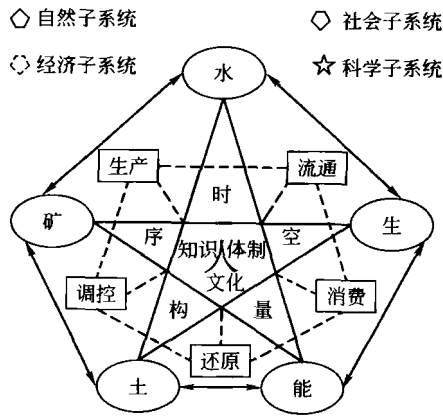


图 1-6 产业复合生态系统示意图（王如松，2003）

(八) 最小风险原理

系统发展的风险和机会是均衡的，大的机会往往伴随高风险。强的生命系统要善于抓住和利用一切适宜的机会，利用一切可以利用的力量，甚至是对抗性、危害性的力量，来为系统服务，变害为利。

(九) 系统论原理

生态工程设计的目的是要建立一个具有一定结构和功能的生态系统，因此必须符合系统论的基本原理：系统结构具有有序性；有明显的边界；有整体功能；必须有特定的功能；由两个以上组分；各组分之间有一定的比例关系；各组分既有分工又有合作；各个组分通过一定的关系发生作用。

（十）自组织原理

自组织是生态系统的一种特性，系统不借外力而自己形成具有充分组织性的有序结构，即生态系统通过反馈作用，依照最小耗能原理，建立内部结构和生态过程，使之发展进化。具有自组织能力的生态系统，在发育过程中，向能耗最小、功率最大、资源分配和反馈作用分配最佳的方向进化，即自我优化。H. T. Odum 称之为“最大功率原则”（H. T. Odum, 1992, 蓝盛芳译）。自组织系统有 3 个主要特征：第一，它们是不断与环境交换物质和能量的开放系统；第二，它们都是由大量子系统（或微观单元）所组成的宏观系统；第三，它们都有自己演变的历史。低层次的子系统或元素一旦形成，就会出现原有层次所没有的性质，自组织过程就是子系统之间关系升级的过程。

（十一）等级系统原理

等级系统论认为，自然界是一个具有多水平等级结构的有序整体，其中每一个层次和水平上的系统都是由低一级层次或水平上的系统组成，并产生新的整体属性。在等级系统中，不同等级层次上的系统都有相应的不同结构、功能和过程，需要重点研究解决的问题也不同，特定的问题不仅需要在一定的时间和空间尺度上研究，还需要在其相邻的上下等级尺度上考察其效益和控制机制。

产业生态系统本质上是一个复杂的等级系统，目的在于协调人类生产与自然生产的关系并实现可持续发展，构建或评价不同区域或组织水平的产业系统也必须协调相应层面的功能。

（十二）尺度原理

尺度原理是指对研究对象在空间和实践上的测度，包括时间尺度、空间尺度和组织尺度，尺度原理认为生态系统的结构、功能及动态变化在不同的时空尺度上有不同表现，也会产生不同的生态效应。

二、产业生态学的研究领域与内容

产业生态学的研究领域与内容相当广泛，这些领域主要有：产业系统与自然生态系统关系的理论研究，原料与能量流动分析（material and energy flows analysis），物质减量化和脱碳（dematerialization and decarbonization），生命周期评价（life cycle assessment），生命周期设计（life cycle design）和为环境设计（design for the environment），延伸生产者的责任（extended producer responsibility），产品导向的环境政策（product-oriented environmental policy），生态效益（eco-efficiency），生态产业园（eco-industrial Parks），技术变革与环境（technological change and the environment）。

（一）产业系统与自然生态系统的关系

产业生态学不把产业体系看作是与生物圈相对立的体系，而是视为生态系统的一个特殊子系统。现有的工业系统，在很大的程度上属于一级生态系统的范畴，需要从理论和方法上研究如何促使其向高级生态系统进化，从而与整个自然生态系统保持协调发展。

（二）产业生态系统的低物质化途径

1. 物质减量化（dematerialization）

或为“非物质化”，即降低产业生产过程中的物料消耗和能源强度。开展物质减量化研究，对于人们认识经济发展和环境之间的关系是一个重要的思路：如果人类在世界人口增长迅速的情况下，既想享有高水平的生活，又想把对环境的影响降低到最小限度，那么只有在同样多的、甚至更少的物质基础上获得更多的产品与服务。

2. 脱碳（decarbonization）

物质减量化和脱碳是不同的概念，脱碳指的是在单位经济输出中，绝对或相对减少所消耗物质的量或产生废物的量。

（三）工业系统代谢过程模拟与改进

1. 原料与能量流动分析（material and energy flow analysis）

产业系统产生的污染不仅是点源，还有分散、复杂的非点源问题，它涉及工业活动的物质与能量消耗。现代工业生产是一个将原料、能源转化为产品和废物的代谢和流动过程，这一过程必然对自然环境产生影响，影响的强度取决于物质与能量使用的强度。

2. 技术变革与环境（technological change and the environment）

一方面是研究、发展促进产业体系进化的科学理论、方法与技术，使产业系统能够像自然生态系统那样维持循环运行；另一方面则是研究创新技术在产业部门应用时遇到的障碍与解决方法。

（四）产品生态评价与生态设计

1. 生命周期评价（life cycle assessment, LCA）

生命周期评价是一种面向产品的方法，它评价产品、工艺或活动，从原材料采集，到产品生产、运输、销售、使用、回收利用、维护和最终处置整个生命周期（即从“摇篮”到“坟墓”）阶段的所有环境负荷。它辨识和量化产品整个生命周期中能量和物质的消耗及其对环境释放，评价这些消耗和释放对环境的影响，最后提出减少这些影响的措施。

2. 为环境设计（design for the environment, DfE）和生命周期设计（life cycle design）

为环境设计和生命周期设计都要求在产品开发的设计阶段，就应考虑生态要求和经济要求之间的平衡，考虑所设计产品可能对环境造成影响的问题，以便生产在整个生命周期内对环境影响最小的产品，其最终目标是建立可持续产品的生产与消费体系。

3. 生态效益（eco-efficiency）