

# 生态产业共生网络形成机理及其系统解析框架

袁增伟 ,毕 军\*

(南京大学环境学院污染控制与资源化研究国家重点实验室 ,南京 210093 )

**摘要** :生态产业共生网络是由各种类型的企业通过经济、社会和环境方面的密切合作而形成的企业及企业间关系的复杂系统 ,其基本出发点是企业间必须具备环境合作 ,根本目的是提高资源生产力和生态效率。从形成生态产业共生网络的微观要素——企业环境责任入手 ,从环境伦理的角度阐释生态产业共生网络中企业的五类环境责任 ,并探讨其形成和运作机制——企业环境责任的市场化运作模式及约束机制。在此基础上 ,提出了基于技术可行性分析、经济可行性分析和社会环境可行性分析的生态产业共生网络三级解析框架 ,并对其解析方法做了探讨。

**关键词** :产业生态学 ;生态产业 ;生态产业共生网络 ;延伸生产者责任

文章编号 :1000-0933 (2007)08-3182-07 中图分类号 :Q148 文献标识码 :A

## Evolution mechanism of eco-industrial symbiosis network and its analytical framework

YUAN Zeng-Wei ,BI Jun\*

State Key Laboratory of Pollution Control & Resource Reuse ,School of the Environment ,Nanjing University ,Nanjing ,210093 ,P. R. China

*Acta Ecologica Sinica* 2007 27 (8) 3182 ~ 3188.

**Abstract** :Eco-Industrial Symbiosis Network (ESN) is a complex ecosystem consisting of a variety of enterprises and embedded relationships ,in which all enterprises closely interact and cooperate with each other on economic ,social ,and environmental issues. The fundamental principle to develop an ESN is that all enterprises must cooperate each other in regard to environmental performance by improving resource productivity and eco-efficiency of the whole system. In order to explore the basic elements and principles of the system ,the paper examines the corporate environmental responsibility (CER) in terms of environmental ethics and divides it into five categories ,that is ,environmental and health training ,environmental/eco-design ,green/sustainable consumption ,extended producer responsibility ,as well as comprehensive utilization of wastes and pollution control. Furthermore ,the paper proposes the operational mechanism and formation process of five corporate environmental responsibilities within a market-based economic system. In the end ,the paper provides an analytical framework for ESN based on the technological ,financial and social feasibilities.

基金项目 :国家自然科学基金资助项目 (40501027 ,40471057) ;国家社会科学基金资助项目 (06CJY014) ;“十一五”国家科技支撑计划资助项目 (2006BAC02A15)

收稿日期 :2006-03-07 ;修订日期 :2007-05-24

作者简介 :袁增伟 (1975 ~ ) ,男 ,河南省平顶山人 ,博士 ,主要从事产业生态学与循环经济、环境系统分析与建模、环境规划与管理研究。E-mail :yuanzw@nju.edu.cn

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail :jbi@nju.edu.cn

**Foundation item** :The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40501027 ,40471057) ;National Social Science Foundation of China (No. 06CJY014) ;the Eleventh Five-Year Key Technology Rand D Program ,China (No. 2006BAC02A15)

**Received date** 2006-03-07 ;**Accepted date** 2007-05-24

**Biography** :YUAN Zeng-Wei ,Ph. D. ,mainly engaged in industrial ecology ,circular economy ,environmental systems analysis environmental planning and management. E-mail :yuanzw@nju.edu.cn

**Key Words :** industrial ecology (IE) ; eco-industry ; eco-Industrial symbiosis network ; extended producer responsibility (EPR)

生态产业是相对于现有的产业发展模式而言的,是对基于经济、社会和环境 3 种综合效益最大化的一种产业形态的中文表达,主要是为了体现其与传统基于单一经济效益的产业模式的区别。生态产业共生是生态产业中企业的组织形式,尤其是企业与企业之间在环境保护方面的合作机制,由于国外通常用 industrial symbiosis 一词,因此,有的中文论著中也称其为“产业共生”。就其产生背景、发展历程和本质要素而言,它要比产业集群(industrial cluster)具有更丰富的内涵,因为产业共生不但要求企业通过集聚形成产业空间上的集聚,而且还要求集聚中的企业之间必须通过环境方面的合作来实现整合效益的优化,而这一点则是产业集群概念中所没有体现出来的<sup>[1]</sup>。而生态产业共生网络则是指由各种类型的企业在一定的价值取向指引下,按照市场经济规律,为追求整体上综合效益(包括经济效益、社会效益和环境效益)的最大化而彼此合作形成的企业及企业间关系的集合。生态产业共生网络是构成产业共生体的必要条件和核心内容,也是现实中推进生态产业建设和实施循环经济战略的基本要素。

国外发达国家最初提出产业共生概念时,其产业经济 and 环境保护技术(尤其是清洁生产和污染治理技术)已经发展到一个较高的水平,最明显的指标就是其产业系统的资源生产力和生态效率比较高,这种情况下,就边际成本和边际效益的组合分析来看,通过企业/产业间的废物交换利用来实现企业/产业废物减量化或零排放是相对最优的策略和手段<sup>[2-5]</sup>。因此,产业共生最初是希望通过建立企业间的关联来实现产业系统物质的闭路循环和能量的梯级利用<sup>[6,7]</sup>。这种特定背景为其留下了“副产品再生利用”的烙印<sup>[3,5,8]</sup>。最近,产业共生研究开始呈现由废旧资源循环利用工程设计<sup>[9,10]</sup>向系统规划<sup>[11]</sup>和绩效评估<sup>[12,13]</sup>研究方面转变的趋势,但迄今为止,除了王兆华博士运用费用交易理论<sup>[14]</sup>和袁增伟博士运用企业环境责任市场化理论<sup>[15]</sup>曾尝试对其进行解释外,还没有查到其它关于生态产业共生网络形成机制和内生机理的深入研究。

我国的生态产业共生网络研究总体上呈现 3 种趋势:一是“技术主导论”,主要是强调企业清洁生产技术、废物资源交换利用技术、废物回收和再循环技术、资源替代技术等开发,并利用这些技术来构建企业/产业间废物交换利用网络,进而实现提高资源的利用效率和减少污染排放的目的,支持该论断的主要是在化工、冶金、钢铁、石化等行业从事行业清洁生产的技术人员<sup>[16,17]</sup>;二是“管理主导论”,主要是强调产业网络的运作管理,认为通过提高认识、强化管理可以达到节约资源和减少污染的目的,支持该论断的主要是原先从事管理学、环境政策、环境经济研究的科研人员<sup>[14]</sup>。这两种论断都从各自的知识背景和立场视角提出了分析和优化产业共生网络的思路和方法,但由于研究对象的复杂性和多样性,导致现实中按照这两种思路规划的生态产业方案在实施过程中都不尽如人意。虽然也有一些学者<sup>[15]</sup>曾尝试将两种思想进行融合,但由于客观条件的限制,无论是研究层面还是实践层面,都还没有达到预期的效果。

1 生态产业共生网络的微观要素——企业环境责任

作为生态产业区别于传统产业的标识物,环境要素在形成生态产业共生网络的过程中起着举足轻重的作用,是促成企业进行环境合作的基础条件和主要驱动因子。然而,由于环境产品的特殊性以及环境价值的外部性,用传统的成本-效益分析理论虽然可以在理论上解释其存在性,但是却无法阐释其现实必然性和可行性。根据企业环境责任的来源、种类和性质的差异,这里将其分为五类:①企业环境安全与健康知识培训;②企业环境设计(生态设计);③产品绿色消费知识宣传;④生产者责任延伸;⑤企业环境污染治理及废物资源化。企业各类环境责任的来源见图 1。

图 1 是按照生产企业物料流程中环境责任的产生环节来区分和界定企业环境责任的,虽然是一种特例推理的结果,但大量的案例分析表明,这 5 类环境责任不但存在于生产型企业,而且或多或少地存在于所有类型企业,只是由于企业属性的差异,导致五类环境责任可能并不同时出现而已。

识别企业环境责任的前提是产品生命周期内观察其环境影响,并且按照“生产者负责、消费者付费”的原

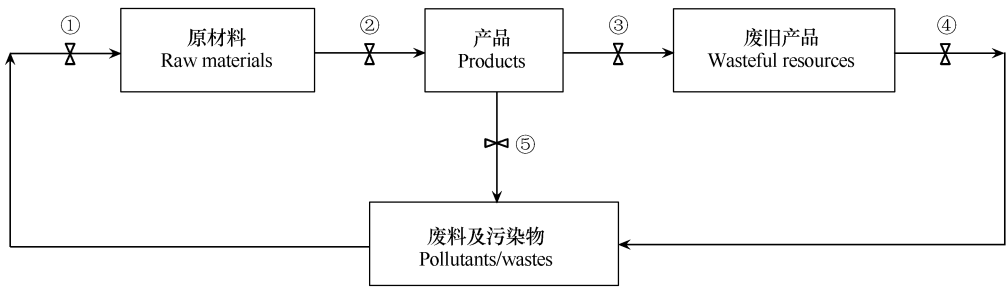


图1 生态产业共生网络中企业环境责任来源及分类

Fig. 1 Sources and classification of enterprise environmental responsibilities in ESN

则来界定其归属。图1列出了产品生命周期内污染可能产生的两个潜在环节:首先,企业在开采原材料以及将其加工成为产品或半成品的过程中会产生大量的污染物和一部分废料;其次,产品经过消费者使用后会形成大量的废旧产品。从产业生态学中物质闭路循环的角度来看,如果能把这两个环节产生的废物资源尽可能的作为原材料返回到原材料系统,则构成理论上的物料闭路循环系统。理论上,该想法似乎很简单,然而,现实中操作起来却是一个非常复杂的工程,并且几乎是不可能达到这样的理想状态,因为整个过程中必然会有一部分污染物没有办法资源化利用,而只能将其进行无害化处理和处置。企业对上述过程的理想化控制过程和控制环节,构成了企业环境责任的主要来源和类型。

(1)环境安全与健康知识培训

即产品生命周期内涉及的所有企业都要对其员工进行环境安全与健康方面的知识培训,一方面让企业从一开始就将资源节约利用和污染减量化的思想贯彻到原材料开采、加工和利用的全过程中去,尽可能地规避环境和安全风险;另一方面切实让员工做好自我防护,尽可能减少生产全过程可能给其造成的健康伤害,最大限度地保证工人的安全和健康。

(2)环境设计或生态设计

即企业从产品的设计之初就充分考虑其原材料使用、生产过程、消费过程乃至消费后废旧产品的回收和再利用全过程的环境影响,并尽可能在产品的设计过程中从产品功能、结构、大小、材料等方面提出符合绿色产品理念的设计方案,从而最大限度将环境影响消灭于无形。

(3)绿色消费策略

在产品的消费过程中往往涉及到很多环境污染问题,这时的企业不但有责任分析和识别这些潜在的环境问题,而且还应该有一套解决本企业产品在消费过程中可能造成的环境问题的策略和方法——绿色消费知识。同时,企业担负着在产品销售的过程中就将这些绿色消费策略和方法“传授”给消费者的责任和义务,以便使消费者在消费的过程中尽可能地避免或减少这些污染的产生。

(4)延伸生产者责任(废旧产品回收及资源化,也称逆向物流)

即企业既是产品的生产者,也是垃圾的原始制造者,即企业应该是这些废旧产品的最终责任处理者,然而,消费者消费了产品的使用价值,理应为其承担一定的成本,这就是所谓的“生产者负责,消费者付费”原则<sup>[5]</sup>。通过运行该机制,不但可以实现废旧产品的回收再利用,而且有效避免了这些废旧产品流入环境后可能造成的潜在环境污染。

(5)企业生产过程中的环境污染治理及废物资源化

即企业有责任和义务消除其生产过程中所产生的环境污染物,并且同时有责任尽可能地利用这些废物资源而不是将其作为垃圾处理掉,以便最大限度地提高资源生产力和生态效率,规避潜在的环境影响,这一部分是目前现实中企业履行环境责任的主体。

2 生态产业共生网络的微观机理——企业环境责任市场化

诚然,企业的环境责任完全可以由其自己投资自己履行,然而,现实中市场竞争的结果却往往并非如此,

这是因为随着全球经济一体化步伐的加快,企业面临越来越大的竞争压力,从而迫使企业将其非核心业务外包,而集中有限的精力和资金从事本企业的核心业务,以提高其核心竞争力。企业环境责任对大多数企业来讲都是一项新业务,是本企业所不擅长的,从而也是企业的非核心业务之一。在这种情形下,企业为了提高其核心竞争力,在运作过程中不得不将这些“杂务”从企业核心业务中剥离出来,通过市场找到合适的专业代理商(或合作商)帮助其履行环境责任。将环境责任从企业核心业务中分离出来是今后企业履行环境责任的市场化方向。

企业将其环境责任分离的结果必然是通过市场将其委托给擅长环境业务的企业去“帮”自己完成,而这种“帮”是基于一定的报酬的,也就是企业通过委托一个可以信任的环境业务代理企业去帮助自己履行环境责任,而自己支付给代理企业一定的劳动报酬,从而形成所谓的委托-代理环境责任市场化机制。按照环境责任类型的不同,其委托-代理机制运作起来会有较大的差异,从而形成不同的产业共生网络结构。

2.1 环境责任委托代理模式

企业设置专门的环保部门来履行其环境安全和健康培训、绿色消费宣传、环境污染治理等责任虽然在理论上可行,但在现实中往往是一种不经济行为。因而很多时候,企业是委托相关科研院所、高等院校或专门的环保机构来履行这些责任的,甚至对于某些专用环保治理技术的开发也是如此。这种环境责任履行模式往往是基于代理企业和委托企业之间的一种信任和合作关系,协作在其中占了很大的成分,因为要解决委托企业的环境问题,不仅需要代理企业的努力,而且需要委托企业员工的积极参与和密切配合。在这种业务外包关系中,合同往往不是那么的正规和严格,双方的信任是合作的基础,此时的双方往往是本着务实和解决问题的态度进行的协作。

2.2 绿色供应链管理模式

于环境设计责任而言,它虽不是企业的核心业务,但企业不能也不愿意将该业务外包,这是因为环境设计是嵌套在其核心业务——产品设计中的,如果将环境设计业务外包,就意味着企业不得不公开其产品设计资料,虽然委托代理合同可以对环境责任代理企业形成一定的法律约束力,但环境责任委托企业仍然要承担很大的泄密风险。在这种情况下,通过一定的机制(如激励、惩罚等)来促使供应链上相关企业共同致力于整个产品链环境表现的改善和环境效益的提升,会取得意想不到的效果,这就是目前国际上流行的绿色供应链管理机制的精髓。在这种机制下,供应链上相关企业在环境方面密切合作,甚至是无偿援助;同时,由于大家均将整个供应链视为一个整体并且实现了相关信息的共享,因而大大增加了供应链上企业的责任心,有利于激发相关企业履行环境责任的积极性和主动性,从而大大改善其履行效果;除此之外,供应链上企业在“非核心业务”上的密切合作,大大增加了企业之间的信任,加强了彼此的联系,进而减少了“核心业务”合作中的“逆向选择”和“败德行为”。

2.3 废物资源交换利用模式

对于本企业内部不能够资源化利用的废物资源,通过市场交换将其出售给可以利用该种废物作为原料的企业,从而实现企业之间废物资源的交换利用,这是目前生态产业共生网络建设中比较流行的共生模式。由于废物资源与原生资源的属性不可能完全相同,废物产生企业或废物利用企业往往需要设置专门的工序对这些废物资源进行特殊处理,并且在很多时候废物利用企业还要对其生产流程进行一定的调整,这就决定了该模式中企业之间的合作带有很大的依赖性和互补性,相应地也就存在较大的合作风险。因此,这种共生模式需要相关企业之间不仅要有较好的完全信任度,以便能够进行深度合作,另外,企业还要有充分的技术和资金支持,因为潜在的风险很大,一旦某一个企业因某种原因倒闭,则整个废物资源利用网络将会瘫痪。在这种模式下,希望参与该共生网络的企业首先将自己的废物资源供需清单发到共生网络专用信息资源中心,并从信息中心获得相应的供需信息,然后,通过信息中心与相应的企业联系并建立合适的废物交换关系。需要注意的是,信息中心要严格审查企业所提供信息的完备性和真实性(包括企业信誉等级),尽可能规避虚假信息以及由此带来的合作风险。

3 生态产业共生网络的约束机制——委托代理合同

从前面对企业共生要素和共生机制的分析可以知道,构成生态产业共生网络的最根本的原理是企业环境责任的委托代理关系,而环境责任委托企业对环境责任代理企业的信任是该机制正常运行的前提和基础,这种信任包括两个方面的含义:相信环境责任代理企业有能力完成其环境业务;相信环境责任代理企业会遵守诺言,按照委托-代理合同中的条款去履行其环境责任。同时,委托-代理合同是环境责任委托-代理机制中的关键环节,是确保该机制顺利实施的法律保障。然而,环境责任委托企业和环境责任代理企业环境信息的不对称必然造成潜在的“败德行为”<sup>[15]</sup>。

为规避环境责任履行中可能的“败德行为”,必须建立企业信任机制,主要策略有:(1)加强相关合作企业的沟通与交流,增进彼此了解;(2)建立良好的企业文化,服务质量第一的原则,塑企业永久品牌;(3)日常业务中强化自我约束机制,不断提高企业信誉;(4)加入被社会认同的环境协会和其它专业联合会等。除提高企业自我可信任机制外,环境责任委托-代理协议是控制风险的重要途径,即将协议双方需要明确的责任、义务、指标、程序、规范、时间、费用等以正规合同文本的形式列出,从而以法律的形式保证合作条款的顺利实施。

除此之外,一定的激励机制可以增加协议双方履行合同责任的可能性。生态产业共生网络中的激励主要是针对其网络要素——环境责任委托和代理企业而言的,而不考虑企业内部的激励机制。一般来说,激励的主体就是环境责任委托企业,客体是环境责任代理企业,常用的激励手段有:(1)价格激励,即提高环境责任履行合同费;(2)订单激励,即给环境责任代理商更多的业务量以增加其效益;(3)商誉激励,即通过授予环境责任代理企业一定的荣誉来刺激其积极性;(4)信息激励,如环境责任委托企业为环境责任代理企业提供更多的技术信息等;(5)新产品/新技术的共同开发,即由环境责任委托和环境责任代理企业共同投资开发新技术或新产品;(6)组织激励,即通过环境责任履行过程中良好的组织机制来营造愉快的合作氛围,从而大大提高合作效率和参与人员的积极性。最后,一定的淘汰机制会鞭策合同双方共同努力。

4 生态产业共生网络系统解析框架

从前面对生态产业共生网络中企业间共生要素、共生机制和约束机制的系统分析可以知道,它是由多个不同类型而又有相互联系的企业在环境责任市场化机制下形成的复杂关系网。该网络中的企业可以是实物产品的制造者,也可以是服务型产品传输的供应者;可以是原始材料的开采加工者,也可以是最终产品的组装者;可以是联系企业之间产品的物流服务提供者,也可以是沟通产品生产与产品消费的营销商。因此,生态产业共生网络是以企业为基本要素,以企业之间的关系为纽带而形成的企业关系网,企业之间的联系基本上符合市场经济规律。那么,现实中如何分析这类系统以便规划和建设此类共生关系?正是基于对该问题的思考,提出了基于技术可行性、经济可行性和社会环境可行性的三位一体解析框架(见图2)。

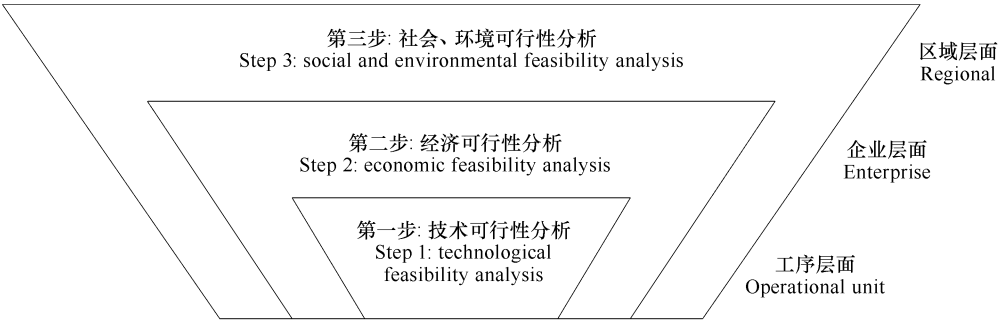


图2 生态产业共生网络解析框架

Fig. 2 Analytical framework for Eco-industrial symbiosis network

4.1 第一步: 工序层面的技术可行性分析

企业之间的环境责任委托-代理业务是发生在两个企业之间的,但是具体的履行过程却是发生在双方企

业内部的某一个或几个部门之间,譬如甲企业委托乙企业帮助其资源化废物资源,就甲企业而言,废物必然只产生于企业的某一个或几个生产工序中,而于乙企业而言,能够处理和利用甲企业废物资源的也只能是其内部的某一道或几道工序。基于这种认识,要保证环境责任履行的技术可行性,可以将生态产业共生网络中的企业内部工序细分为一个个有独立输入输出的微单元,这些微单元中有的能够产生环境责任,有的则没有,这里将能够产生环境责任的单元称为“关键元”。这样如果要判断一个企业的某种废物资源是否能够被另外一个企业使用,只要弄清楚废物资源的主要成分和废物吸纳企业利用废物的“关键元”的输入物料性质就可以了,而这一点于“关键元”操作人员是相对简单的。

4.2 第二步:企业层面的经济可行性分析

于产业共生方案的经济可行性而言,是基于企业层面的,也就是说,生态产业共生方案经济可行性分析必须建立在企业尺度上。即对某一企业而言,可能同时与其它企业之间有一个或者几个技术上可行的共生方案,然而,不同方案的成本-效益分析结果则有很大的差别,对企业而言,需要考虑的是整个企业的效益而非某一个方案的效益,也就是说某一共生方案或许在进行单一成本-效益分析时发觉其经济上不可行,但是,如果将其与其它相关共生方案结合起来考虑时可能会发现,总体的共生方案是经济可行的,而该方案又在总方案中居于不可或缺的作用,这就是基于企业经济可行性分析的依据。具体来讲,就是要将企业内技术可行的所有共生方案分别进行成本-效益分析,然后分别累加,根据总成本和总效益判断其经济可行性。

4.3 第三步:区域层面的社会和环境可行性分析

在确保环境责任委托-代理企业之间共生方案技术可行性和经济可行性的基础上,一项具体的共生方案能否真正付诸实施,还要考虑其社会可行性和环境可行性,就是要考察该方案是否与本地区社会文化条件、生活习惯、以及区域环境状况(比如污染总量控制情况)等条件相吻合。从这一点上来看,共生方案社会和环境可行性分析是建立在区域尺度上的,其决策和协调主体往往是地方政府主管部门。譬如,某地区的一个企业为了与另外一个企业建立某种共生关系,需要新建一车间或生产线,并且该方案在技术上和经济上都是可行的,但是,站在区域污染总量控制的角度来看,它可能导致区域污染排放总量超出控制范围,也就是说,于区域环境而言,该方案是不可行的。

5 结论

本研究系统论述了生态产业共生网络产生的背景、本质属性及其国内外研究现状,客观分析了由于我国特定国情所导致产业共生网络研究在我国呈现出的趋向差异性。在此基础上,从构成生态产业共生网络的基本单元——企业入手,系统分析了生态产业共生网络中企业的五类环境(社会)责任:企业环境安全与健康知识培训、环境设计、绿色消费、延伸生产者责任、污染治理和废物资源化,并从企业环境责任市场化运行的角度提出了基于环境责任委托代理模式、绿色供应链管理模式和废物资源交换利用模式的企业共生方案。以此为基础,文章又探讨了基于企业信任机制提升、环境责任委托-代理合同和企业共生体激励机制的“败德行为”规避措施。最后,本研究还从建设生态产业和实施循环经济战略的实际需求出发,提出了基于技术可行性、经济可行性、社会和环境可行性的企业共生方案可行性分析框架。本研究的完成,为理解和分析生态产业共生网络的要素、结构、功能以及现实中发展生态产业提供了一个战略性的思路和框架,不但有助于产业共生基础理论研究的深化,而且有助于推动我国的循环经济实践。

References :

[1] Yuan Z W , Bi J. Progress and Perspectives of Industrial Ecology : A Critical Review. *Acta Ecologica Sinica* , 2006 , 26 ( 8 ) : 307 — 314.

[2] Fichtner W I. Tietze-Sotockinger , and O. Rentz. Industrial symbiosis networks and their classification. *Progress in Industrial Ecology* , 2004 , 1 ( 1/2/3 ) : 130 — 143.

[3] Industrial Development Council. Industrial symbiosis exchange of resources , Karlundborg. Accessed on March 7 , 2005 from : <http://www.symbiosis.dk>.

[4] Krivtsov V , Wager P A , Dacombe P , Gilgen P W , Heaven S , Hilty L M , Banks C J. Analysis of energy footprints associated with recycling of glass

and plastic : case studies for industrial ecology. *Ecological Modeling* ,2004 ,174 :175 — 189.

[5 ] Ayres R U. Ayres L Industrial ecology-towards closing the materials cycle. Edward Elgar , Cheltenham , UK ,1996. 278 — 280.

[6 ] Marian Chertow. Industrial symbiosis : literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and Environment* ,2000 ,25 :313 — 337.

[7 ] Allenby B R. Industrial ecology : the material scientist in an environmentally constrained world. *MRS (Materials Research Society )* ,1992 ,17 :6 — 51.

[8 ] Frosch R , N Gallopoulos. Strategies for manufacturing. *Scientific American* ,1989 ,261 ( 3 ) :144 — 152.

[9 ] Janet A M , Eilering , Walter J V. Vermeulen. Eco-industrial parks : toward industrial symbiosis and utility sharing in practice. *Progress in Industrial Ecology* ,2004 ,1 (1/2/3 ) :245 — 271.

[10 ] Graedel T E , B R Allenby. *Industrial ecology (Second Edition )*. Pearson Education Inc. Prentice Hall ,2003.

[11 ] Nemerow N L. *Zero Pollution for industrial : waste minimization through industrial complexes*. NY : John Wiley & Sons , Inc. ,1995.

[12 ] Lowe E A. *Eco-industrial park handbook*. Accessed at 2005-3-9 from. [http ∕∕www. indigodec. com](http://www.indigodec.com).

[13 ] Kincaid J , M Overcash. Industrial ecosystem development at the metropolitan level. *Journal of Industrial Ecology* ,2001 ,5 (1 ) :117 — 136.

[14 ] Wang Z H. *Industrial symbiotic network of eco-industrial parks*. Doctoral Dissertation of Dalian University of Science and Technology ,2002 ,12.

[15 ] Yuan Z W. *Control and optimization model on industrial symbiotic network of eco-industrial parks*. Doctoral dissertation of Nanjing University ,2004 ,12.

[16 ] Jin Y , Li Y R , Feng J T. *Principles and application of eco-industry*. Beijing : Tsinghua University Press ,2003.

[17 ] Department of Scientific and Technological Standard , SEPA. *Circular economy and eco-industry planning*. Beijing : Chemical Industry Press ,2004.

参考文献：

[1 ] 袁增伟 , 毕军. 产业生态学最新研究进展及趋势展望. *生态学报* ,2006 ,26 ( 8 ) :307 ~ 314.

[4 ] 王兆华. 生态工业园工业共生网络研究. 大连理工大学博士学位论文 ,2002 ,12.

[5 ] 袁增伟. 生态工业园区产业共生网络优化调控研究. 南京大学博士学位论文 ,2004 ,12.

[6 ] 金涌 , 李有润 , 冯久田. *生态工业 : 原理与应用*. 北京 : 清华大学出版社 ,2003.

[7 ] 国家环境保护总局科技标准司. *循环经济和生态工业规划汇编*. 北京 : 化学工业出版社 ,2004.