

生态工业园区生态系统理论及调控机制

袁增伟, 毕 军, 王习元, 张 炳, 黄 娟

(南京大学环境学院环境管理与政策研究中心, 南京 210093)

摘要:随着工业生态学理论的发展,尤其是循环经济理念的广泛推广,生态工业园区建设在全球范围蓬勃开展起来。然而,由于对生态工业园区生态系统结构、功能及其优化调控机制认识的不足,导致目前生态工业园区建设走入了单纯构建闭环链以实现废物循环利用的误区。本研究旨在剖析生态工业园区生态系统的特点,建立其生态系统概念模型,并阐释其优化调控机理。为此,作者首先深入分析了生态工业园区生态系统的特点,阐释了技术流和知识流在该类生态系统功能中的重要性,在此基础上提出了基于社会子系统、环境子系统、经济子系统和资源子系统的四维一体生态工业园区复合生态系统结构框架,并给出了系统功能协调度、调节费用及其系统效益之间的理论变化曲线。其次,作者又从生态系统功能流的角度分析了其物质流、能量流、信息流、价值流、技术流和知识流,并给出了各功能流的表征指标和衡算方法。另外,从系统优化调控的角度提出了基于绿色招商和绿色供应链管理的生态工业园区生态系统控制管理体系。最后,以苏州工业园区为例,对其生态系统做了优化研究。

关键词:生态工业园;复合生态系统;绿色供应链管理;工业生态学

Theory and control mechanism of eco-industrial parks

YUAN Zeng-Wei, BI Jun, WANG Xi-Yuan, ZHANG Bing, HUANG Juan (Center for Environmental Management and Policy, School of Environment, Nanjing University, Nanjing 210093, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2501~2508.

Abstract: Following the development of Industrial Ecology (IE) and the widespread promotion of Circular Economy (CE), Eco-Industrial Parks (EIPs) have been rapidly developed throughout the world. An EIP is a district where enterprises are organized according to industrial symbiosis and Circular Economy. It aims to optimize the integrated benefits of environment, economics, and society in the park. However, there is a limited understanding of EIP ecosystematic structure, function and optimized control mechanism. As a result, almost all the present EIPs are inappropriately designed as a closed loop or network to merely recycle waste. This is especially true in China. Unfortunately, such a narrow thinking of EIPs, deeply embedded in decision-makers' mind, has already imposed significant impacts in the development of EIPs in China. This research tries to raise the question and establish the theory of analyzing and optimizing EIP ecosystem. The paper analyzes the ecosystem characteristics of EIP. It illustrates the importance of technology and knowledge in EIP ecosystem. It also demonstrates that the conventional theory of complex ecosystem cannot explain ecosystem function in EIPs. Based upon the above analysis, the research proposes a comprehensive ecosystem structure for EIPs. This structure is built upon the following four sub-ecosystems: society, environment, economics, and resources. The paper then provides a theoretic curve that illustrates the interaction among coordinating degree index, coordinating cost, and ecosystem benefits. The results show that the coordinating cost first increases moderately while the coordinating degree increases. When the coordinating degree reaches a certain point, the cost increases dramatically. In addition, the paper analyzes the flows of materials, energy, information, value, technology, and knowledge from the perspective of ecosystem function. It also provides indicators and formula for calculating the flows. At the same time, the authors provide an optimal control mechanism of ecosystem management. On the basis of green business recruiting (GBR) and green supply chain management (GSCM), the proposed mechanism integrates point and process control

基金项目:国家“十五”科技部“863”重大科技专项资助项目(2002AA6012-7);江苏省自然科学基金重点资助项目(BK2003207)

收稿日期:2004-02-27;修订日期:2004-06-10

作者简介:袁增伟(1975~),男,河南省平顶山人,博士生,主要从事产业生态学、环境规划与管理研究。E-mail: jbistud@nju.edu.cn

Foundation item: State tenth Five-year Key Science Program; Ministry of Science Technology 863 Program (No. 2002AA6012-7) and Jiangsu Provincial Natural Science Foundation (No. BK2003207)

Received date: 2004-02-27; **Accepted date:** 2004-06-10

Biography: YUAN Zeng-Wei, Ph. D. candidate, mainly engaged in industrial ecology, environmental planning and management.

principles of Green Supply Chain into EIP management systems. In the end, the research provides a case study of Singapore-China Suzhou Industrial Park.

Key words: eco-industrial parks; complex ecosystem; green supply chain management; industrial ecology

文章编号:1000-0933(2004)11-2501-08 中图分类号:F424.1 文献标识码:A

生态工业园区是一个包括经济、社会、环境和资源的地域综合体,是依据循环经济理念和工业生态学原理设计成的一种新型人工复合生态系统。它通过模拟自然生态系统建立工业系统“生产者-消费者-分解者”的循环途径和食物链网,采用生态设计、清洁生产、废物交换利用等手段使一个企业产生的副产品或废物用作另一个企业的原料,以实现物质闭路循环和能量多级利用,从而形成一个相互依存、类似于自然生态系统食物链过程的工业生态系统,达到物质能量利用效率最大化和废物排放最小化,实现园区经济、社会和环境的协调发展^[1,2]。

20 世纪 90 年代以来,生态工业园区开始成为世界工业园区发展领域的主题,并取得了较丰富的经验,一些发达国家,如丹麦、美国、加拿大等工业园区环境管理先进的国家,很早就开始规划建设生态工业示范园区,其它国家如泰国、印度尼西亚、菲律宾、纳米比亚和南非等发展中国家也正积极兴建生态工业园区^[3]。我国也于 1999 年开始推行生态工业示范园区建设,经过几年的发展,已经正式挂牌了“广西贵港生态工业(制糖)示范园区”和“广东南海生态工业示范园区”两个国家级生态工业示范园区。并组织通过了几个国家级生态工业示范园区建设规划的论证,包括黄兴国家生态工业示范园区、包头国家生态工业(铝业)示范园区、石河子国家生态工业(造纸)示范园区,鲁北生态工业园、苏州工业园、天津经济技术开发区、苏州新区等,其它地方性生态工业园区不计其数^[4]。

然而,纵贯目前的国内外生态工业园区建设可以发现^[1~7],他们都过分强调了废物资源的闭路循环,走入了单纯构建闭环链以实现废弃物循环利用的怪圈,甚至在一片空白地上规划一个新园区的时候也是这种思维。忽视了生态工业园区复合生态系统自身结构和功能的优化,当把大量的资源浪费后再特意地设置废物循环再利用系统,本身就是一种严重的浪费。导致这种现象产生的根源是人们对生态工业园区复合生态系统的结构和功能缺乏充分的认识^①。尽管传统的自然生态系统理论已经阐释了其结构、功能及优化调控机理^[8],但生态工业园区生态系统作为一种新型复杂人工生态系统,具有一般人工生态系统所没有的特点,从而导致传统的生态系统理论具有很大的不适应性,尽而造成目前生态工业园区建设过程中没有系统的理论作为依据的局面。本研究从生态工业园生态系统的特点出发,阐释其结构和功能,并从系统优化的角度探讨其优化机制,为生态工业园建设提供理论依据。

1 生态工业园区生态系统结构、功能及调控机制

1.1 生态工业园区生态系统特点

生态工业园区作为一种新型人工复合生态系统,具有与一般人工生态系统不同的特点,主要表现在以下几个方面:

(1)人类活动异常强烈 人类活动对最初的自然生态系统的干扰远远超过一般人工生态系统中的人类活动,甚至是完全的人工生态系统取代了先前的自然生态系统。这种特点为这类生态系统的优化调控提供了依据:优化系统自组织机制,强化系统调控能力。

(2)人才和技术的作用异常强大 在这类生态系统中,工业活动占绝对的优势,其它经济活动尤其是农业经济活动大大减弱,某些活动甚至完全绝迹,这种特点决定了技术和人才在该类生态系统中的作用异常强大。因此,知识流和技术流分析及优化对生态工业园区建设的成败有着非常重要的作用。

(3)技术、知识和人才高度密集 生态工业园区需要大量的人才和技术,高素质人才的引进和国际大企业先进管理经验和企业文化的积聚传播,必然形成该类生态系统发达的文化知识氛围,从某种程度上可以认为,人才和技术的集聚量和引进速度决定了该类生态系统能否良性运转。在对这类生态系统进行优化调控时,要充分调动一切能够吸引技术和人才的因素,促进技术和人才的快速流动和集聚。

(4)系统功能异常强大 强大的工业生产活动导致这类生态系统中物质、能源、信息、知识、技术和价值的流动异常强烈(主要表现为流量和流速),其外在表现为系统效益提升和产值增值速度远远超过一般的人工生态系统。

(5)系统具有高度的开放性 生态系统耗散结构理论要求系统具有开放性,而由于生态工业园区生态系统结构和功能的特殊性,导致其高度的开放性。在以工业活动为主的该类生态系统中,大量的资源能源消耗和人才需求必然导致其与外界频繁的物质、能量、信息交换,加上系统某些自然生态系统功能的缺失,致使系统必需通过与外界的物质、能量及信息交换来实现功能替代。

万方数据

① 袁增伟, 毕军, 王习元, 等. 生态工业园区建设国内外研究进展. 生态经济, 2004

1.2 系统结构、功能及调节机制

生态工业园区生态系统中知识流和技术流的流动速度异常地快,从而大大驱动了系统物质流、能量流、信息流和价值流的流动速度,强化了系统的生态功能。生态工业园区生态系统的这种特点导致一般生态系统中的物质流、能量流、价值流和信息流分析已经不能全面剖析这类生态系统的作用机制和功能特点,因为没有人才流和技术流作为支撑,生态工业园区的功能体系就相当于是一个没有血液和肌肉的骨架,它不但没有灵气,而且没有活力,因而对于该类生态系统的优化调控如果不考虑对人才流和技术流的优化,那其优化方案简直不能想象。鉴于生态工业园区生态系统的这些特点,传统生态系统中的物质流、能量流、价值流和信息流分析已经不能全面剖析这类生态系统的功能,而必须引入知识流和技术流分析。从而形成了生态工业园区生态系统的结构和功能体系(见图1)。

图1中的球体表示生态工业园区生态系统。正三棱锥的4个顶点分别代表生态工业园区生态系统中的经济子系统、环境子系统、社会子系统和资源子系统,这里之所以用正三棱锥的4个顶点表示,是因为这4个子系统没有明显的重要与不重要之分,其在系统中所起的作用同等重要,缺一不可。需要注意的是,这里的资源是广义的资源,即除了包括自然资源外,还包括支持系统良性运转所需要的其它一切社会资源,如人才、技术、信息、文化等。而社会子系统主要是偏重于人的生产、培养以及与此相关的企业一切活动所组成的功能体系。生态工业园区生态系统的4个子系统不是孤立的,每个子系统都与其他子系统相互交错,共成一体,如社会子系统中育人的培养,生活消费相关的一切活动无不与人的文化素质有关,同时也与系统教育资源及消费资源的可获得性密切相关。

4个子系统构成了整个生态系统的空间结构框架,也决定了功能流的路径和状态。因此,4个子系统的状态对整个生态系统的稳定性起着举足轻重的作用,在很大程度上也决定了功能流的流速和流量。一旦4个子系统中任何一个受损,导致该子系统的结构发生变化,则必然改变整个生态系统的结构,进而引起各功能流的变动,使其突然进入暂时的混乱状态,然后,系统在其“自组织”规律的作用下,依靠自身的调节机制,逐步使系统恢复到稳定状态,这个状态可能是原先的稳定态,也可能是某些结构和功能得到优化后的稳定态。但生态系统的这种自然调节能力是非常微弱的,尤其是在人类活动异常频繁的生态系统中。人类可以按照系统调节规律,通过强化系统的某些功能要素,增强系统的调节能力,这就是系统的优化机制和依据。

正三棱锥的六条棱分别代表生态工业园区生态系统的物质流、信息流、能量流、价值流、技术流和知识流,这6种“流”互为一体,相互交错,形成系统的功能集合体,这里将其称为“功能流”。各功能流在4个子系统内及子系统间快速高效流动,完成系统各项职能。需要注意的是,这里的某一种“流”并不表示三棱锥的这一条边上只有该种“流”存在,而是任何一边都代表着各种“流”均存在。因为正三棱锥的六条边在三维空间内是等同的。一旦其中一种“流”受到阻碍导致流通不畅,则该功能流所执行的系统功能难以完成,必然影响整个系统的效率和效益。各功能流之间的关系是相互作用,互为影响的,当各种功能流协调作用时,形成“共振”效应,即各种功能流协同作用,系统流发挥最大功能,此时,各种功能流产生的协同效应不是各自的简单叠加,而要比这个叠加值大。相反,当各功能流不能协调时,则各种功能流相互干扰,互相削弱,甚至出现“零效应”。系统各功能流协调度、人为调节费用及系统效益变化之间的关系见图2。

图2中的点P为曲线①和曲线②的公共拐点,F、M、N分别为系统处于P点时的功能协调度、系统效益和系统调节费用。曲线①为系统功能流协调度和系统效益曲线,表示随着系统功能流协调度的增加,系统效益不断增大,在功能流协调度达到F点之前,系统效益随着功能流协调度的增加而不断增大,过了F点之后,系统效益逐渐趋于平衡,即系统效益随着系统功能流协调度的增加而变化不大;D点代表系统效益理论最大值所在处,它是一个理想值,是该类生态系统优化调控的理想目标值;曲线②为系统功能流协调度调节费用(人为)与系统功能流协调度(人为调节导致系统协调度变化部分)变化曲线,从图2可以看出,随着系统功能流协调度的增加,系统功能流调节费用不断增加,在功能流协调度达到F点之前,随着功能流协调度的增加,系统功

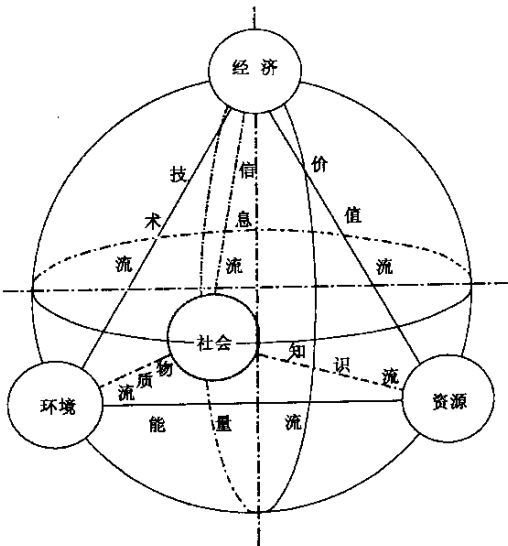


图1 生态工业园生态系统结构与功能

Fig.1 Structure and functions of EIP ecosystem

The four points of the regular pyramid present subsystems of economics, environment, society, and resources. Six sides of the regular pyramid represent the flows of energy, materials, information, technology, knowledge, and value. All the sides and points of the regular pyramid are parallel in space.

能流协调度调节费用缓慢增加,过了F点之后,随着系统功能流协调度的增加,功能流协调度调节费用成指数增加,也就是说,过了F点之后,如果想要获得一点点的协调度增长,就必须花费大量的系统调节费用;C点为人为所能调节的协调度增加的最大值,它也是一个理想值。因为不管人们怎么努力,都是永远不可能实现一个生态系统的最优化,而只可能无限地接近于该值。

从图2可以看出,当系统功能流协调度达到F点时,功能流协调度调节费用(也即系统人为的优化调控成本)与系统协调度之比达到最佳值,此时,刚好系统效益与系统优化调控成本之比也达到最佳点,因为过了F点之后,随着系统协调度的增加,系统效益的变化非常缓慢,而此时的系统调节费用却是呈指数增加。此时,人工调节所取得的系统效益增加与费用投入比例达到最大。这是系统调控所要追求的理想最佳点,其实,在现实中,人们很难将系统优化到这一点,只是努力趋向这一理想点而已。

2 生态工业园生态系统结构及功能表征

从前面的分析可以知道,只有当生态工业园区生态系统结构完整、合理且功能完备时,整个系统才能够良性运转,因此,生态工业园区生态系统效益可以表示为:

$$E_f = f(E_t, F_u, t)$$
 (1)

式中, E_f 表示生态系统效益; S_t 表示系统结构; F_u 表示系统功能流; t 表示时间。即随着时间的推移,生态系统的结构和功能会不断变化,从而影响整个生态系统的功能和效益。

系统结构 S_t 可以表示为:

$$S_t = g(E_{nv}^S, E_{co}^S, S_{oc}^S, Z_{es}^S, t)$$
 (2)

式中, E_{nv}^S 、 E_{co}^S 、 S_{oc}^S 和 Z_{es}^S 分别表示环境系统、经济系统、社会系统和资源四个子系统的健康度,上标S表示子系统。健康度不仅表示系统结构的完整性,还表示系统功能的有效性和系统效益。这些都可以用常规的指标来表征,并且国内外相关的讨论也比较多[8~13]。需要指出的是在表征和评价资源子系统时,除考虑传统的自然资源指标外,更重要的是社会资源指标,如学校、医院、绿地及其他公共设施配套情况等。

系统功能流 F_u 可以表示为:

$$F_u = h(M_{af}, I_{if}, V_{af}, E_{nf}, T_{ef}, K_{nf}, t)$$
 (3)

式中, M_{af} 、 I_{if} 、 V_{af} 、 E_{nf} 、 T_{ef} 、 K_{nf} 分别表示物质流、信息流、价值流、能量流、技术流和知识流属性。将式(2)和式(3)代入式(1),得到系统效益函数:

$$E_f = f(g(E_{nv}^S, E_{co}^S, S_{oc}^S, Z_{es}^S, t), h(M_{af}, I_{if}, V_{af}, E_{nf}, T_{ef}, K_{nf}, t), t)$$
 (4)

依据各种功能流属性的不同,在具体计算时,其表征和计算方法会有较大变化,下面分别加以说明。

(1)物质流 用单位时间的投入产出来表示,对于生态工业园区生态系统来说,投入部分主要是原材料,产出部分是工业产品,需要注意的是,在表征和核算物质流时,这里应该加上单位时间污染物产出量,用于衡量物质利用效率,在实际计算过程中,要精确计算一个复杂系统的物质流是非常困难的,因为很难将所有的原材料统一为一个统一的单位来衡量,一般来说,只有在对具体的一个工艺、产品、产业或企业等特定对象分析时,物质流计算才具有实际意义。

产品产出率 = $\frac{\text{产品总量}}{\text{原材料总量}}$ (5)

污染产出率 = $\frac{\text{污染总产生量}}{\text{原材料总量}}$ (6)

(2)信息流 信息作为现代社会的一个典型特征,具有数量大、更新速度快等特点,因此,在给定的时间内获得足够数量的有用信息就显得尤为重要。尤其是在技术含量高、知识和人才流动快的生态工业园区生态系统更是如此。理论上,可以用统计信息量和信息流流速来表征和衡量信息流[8]。然而,在实际计算时,很难计算统计信息量。鉴于现代网络信息技术的迅猛发展和广泛应用,这里选择用网络数据流量(Id)来表征园区系统信息量(Iti),其它途径的信息来源量可以用校正系数(λ)来修正。校正系数 λ 可以通过网络数据确定,它是经济发展水平、网络基础设施建设水平、人均受教育年限等指标的函数。

$$Iti = Id \cdot \lambda$$
 (7)

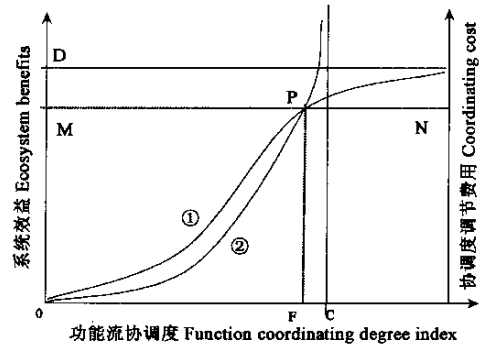


图2 系统功能流协调度调节费用及系统效益变化曲线
Fig. 2 Relationship arcs among benefits, harmonious degree index and coordinating cost

从系统优化调控的角度来说,疏通信息流过程,提高系统信息流的流速、扩大信息流量可以提高系统效益,这也是该类生态系统优化调控的依据。

(3)价值流 价值流流动的过程也就是劳动力创造价值的过程,因此,价值流的流动是一个增值过程。在自然生态系统中,价值流的流向、流量以产值优势度表示^[14],然而,在生态工业园区生态系统中,不能简单地用经济总产值来衡量,而应该在总产值中扣除环境成本,包括内部环境成本和外部环境成本^[15]。这里用价值率来表征价值流的增殖效应。在实际计算过程中,往往用货币来表征各种价值形态,由于货币的市场变动性很大,因此,在具体计算时,必须将所有价值固定在某一时间点或时间段内来衡量。

$$\text{价值率} = \frac{\text{产品总价值} - \text{原材料价值} - \text{劳动力价值} - \text{设备折旧} - \text{环境损失价值}}{\text{产品总价值}} \quad (8)$$

(4)能量流 能量流可以用能源效率和能源结构合理性等指标衡量。能源效率用单位能源消耗所产生的经济总量来表示;能源结构合理性主要是指清洁能源(如天然气、太阳能、风能等)使用比重。

(5)技术流 技术流是指技术能力的流动过程,涵盖并超越了技术创新、技术扩散、技术转移、技术转让等含义。具体而言,技术流有如下特点:①技术流由技术、发送者、渠道、接收者4部分构成;②技术流是指技术能力的流动,而不是技术的流动,技术能力包括生产能力和创新能力;③与技术扩散、转移等概念不同,技术流不是从技术供应方到需求方的单向流动,而是含有反馈、输出等过程的复杂的双向过程;④在技术流过程中,技术源有可能成为技术接受方,技术接受方也有可能成为技术源,因此没有绝对的接受方和供方;⑤技术流是一个无止境的动态过程。技术接受方在接受技术后向外传播,形成一种无终点的螺旋型上升的动态过程。

由于技术主要依赖于技术的载体——人和表征对象(如:机器、设备、工艺等),因此,对技术流的表征,可以用新产品、新材料及新工艺开发周期、技术装备更新换代速度、掌握技术的人才培养、引进数量、质量及速度、研发人员比重、研发投入比例等指标来衡量。另外,也应该包括为实现技术流转而配套的政策、法制体系以及管理措施等。

(6)知识流 所谓知识流,是指知识传递过程中从知识源到知识接受者之间发生的知识转移。与技术不同的是知识偏重于文化、道德、修养,是一个“软”东西,看不见也摸不到,只有在具体的场合、事件中才能体现出来。它有3个组成要素:知识源、知识接受者和知识通道。知识流动的形成和扩散总是伴随着不同创新主体之间的互动而进行的。知识作为生产函数的内生变量服务于其它变量(资本、土地、劳动力),优化其它变量,从而使生产函数的整体目标值最优——系统效益最大化。对生态工业园区这样的特殊生态系统来说,系统或系统内各个组织的创新绩效越来越取决于能否吸收和利用在其它地方发展起来的知识或知识载体——人才。

由于知识的形成和传播都必须依赖于其主体——人,因此,可以用人的培养指标以及为人的培养提供必要支撑的其它指标来表征知识流。具体来说,可以选择以下指标来表征知识流:①人才指标。如全民文化程度,工人受教育水平及其变化情况,人才培养、引进数量、质量、速度等;②为吸引人才而搭建的基础平台。如学校数量、规模、专职教师人数,图书馆数量、图书存储量等。

3 生态工业园生态系统优化机理分析

从前面的分析可以知道,生态工业园生态系统效率取决于系统结构协调度、系统功能流畅程度。因此,系统优化也就从这两个方面入手。有鉴于园区生态系统的主体是企业,因此,这里提出企业内部控制为过程控制,因为企业内部的一系列活动是不间断的,类似于连续的过程,因此,对其控制就相当于从物料进厂到产品出厂的全流程控制;而对企业与企业之间的控制称为节点控制,如果将循环经济的理念贯彻到企业内部及企业与企业之间的交易过程中,就形成了绿色供应链^[16~18],而对该供应链的控制管理正是将循环经济理念和生态设计、清洁生产等技术应用到实践的过程。考虑到对入园企业的环保要求(这里将其称为“绿色招商”),就形成了生态工业园区生态系统的控制管理系统(见图3)。图3中左边的箭头表示对入园企业的约束,即绿色招商。绿色招商就是从招商引资引起严格把好环保关。明确对入园企业的产业技术、装备、污染排放水平、资源能源利用效率等方面的要求,限制高能耗、高水耗、重污染企业进入园区,尽可能从源头上将污染消灭于无形。

供应商、生产商、销售商及消费者是对园区生态系统各主体按照物质、能量流动顺序的大致分类。这里假设园区生态系统具备完善的市场机制,此时,生态系统中各主体之间的活动都有第3方完成,称为“第3方物流主体”,他不仅包括企业与企业之间的货物运输、存储,还包括为企业提供的除商品生产之外的其他一切服务活动。这样,对该供应链的管理控制就包括了整个生态系统的主体及其各主体之间的一切活动。

该系统中的过程控制对象主要包括对供应商、生产商和消费者。对供应商和生产商的控制主要是要求他们实行绿色制造,包括进行生态设计、使用绿色原料、采用绿色工艺及提供绿色生态服务等;对消费者的控制主要是倡导和督促他们养成绿色消费意识。节点控制数据包括两类:绿色采购和绿色营销。其实现途径主要有选择供应商时考虑供应商的环境行为;加强对供应商的绿色化管理,而这些措施能够顺利实施主要是靠合同条款约束,因此,要求各主体之间的合同条款中增加环保要求条款。

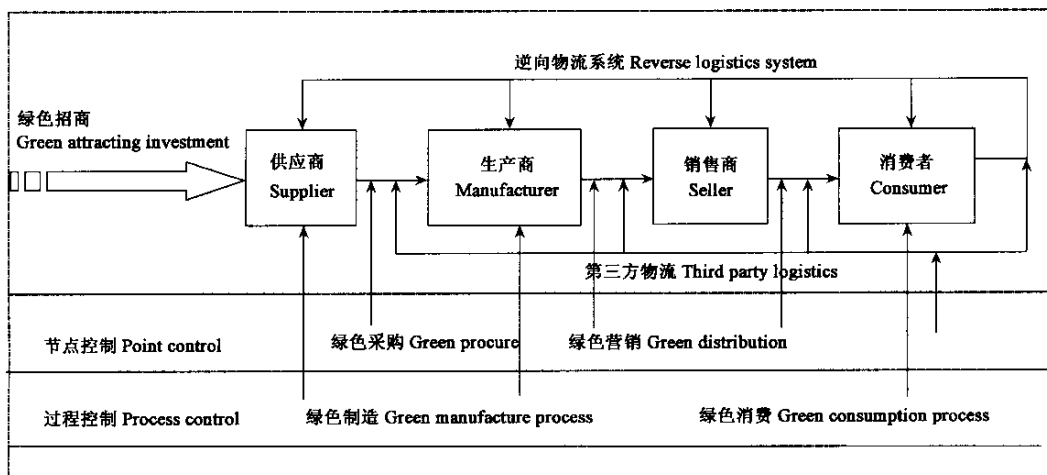


图3 生态工业园区生态系统控制管理系统

Fig. 3 Control and management system of EIPs

图3中的逆向物流系统是今后企业环境管理发展的趋势,即要求企业回收处理其生产的产品经过消费者消费后形成的废旧产品。在完善的市场机制下,通过市场机制的作用,出现专职的第三方逆向物流企业来帮助相关企业完成其延伸生产责任。这样只要通过节点控制手段在生产企业与第三方逆向物流企业合同中增加环保约束就可以了。然而,在目前市场机制并不十分完善的情况下,更多地要依靠法律的强制性和调动企业主动性来实现。一方面通过宣传教育,提高企业和公众的环保意识,另一方面,通过立法,规定企业的延伸生产责任,强制其履行该项义务。这方面国外已经有成功的经验^[19,20]。

4 案例研究

苏州工业园区(以下简称“园区”)于1994年开始建设,是中国和新加坡两国政府之间的最大合作项目。园区行政辖区面积260km²,包括70km²的中新合作区和4个镇。从1994年到2003年9a间,GDP年均递增50%,2003年园区GDP达365.1亿元,工业总产值达到897.97亿元,完成财政收入46.2亿元,累计实际利用外资66.4亿美元。基本形成以微电子及通讯,精密机械,生物制药和名牌轻工为主导的高新技术产业体系。

4.1 园区生态系统“流”分析

为了全面分析园区系统“流”状况,这里分别对园区的水、能源、价值、知识和技术流进行分析,之所以不分析园区的信息流,主要是因为园区是一个典型的高度开放性系统,因此,园区的信息流难以统计,加上园区投资以外资为主,强烈的保密意识更加重了其难度。另外,由于园区建设过程中管理方式的差别,导致很多历史数据无法获得,因此,本研究不对各种流作纵向变化分析,而只分析其现状数据。

4.1.1 物质流分析 在实际的复合人工生态系统中,由于无法将所有物质投入归一为同一单位来计算,因此,往往是选择几种特定的物料作为代表来衡算。这里仅对园区的水流进行分析。园区2002年的水资源消耗系数为47.34t/万美元GDP,仅相当于发达国家20世纪90年代初期水平(瑞士1991年每万美元GDP的水资源消耗系数为35.5t/万美元)。水资源利用效率低不仅导致水资源的浪费,而且使园区的废水产生量和排放量大大增加。

4.1.2 能量流分析 尽管园区能源效率较全国平均水平高,但与国外发达国家相比差距甚远,大致相当于发达国家20世纪80年代末水平(见表1)。

在对园区企业的实地调查中发现,园区多为能耗高的纯粹加工制造业,而产值高、能耗低的前端开发设计及后端服务业比重较低,这是导致园区能源利用效率低的主要因素。

4.1.3 价值流分析 这里选择园区GDP与全社会固定资产完成额之比来表征园区生态系统价值流的增值情况,1994~2003年历年的园区单位全社会固定资产投资额的GDP产出率见表2。

从表2可以看出,建园初期园区的投资回报率(价值率)很高,然而随着时间的推移,尤其是1996~1999年,这种趋势逐渐减弱,可能与这几年的固定资产投资进入高潮期有关,2000~2002年,这种趋势有所改善,表明园区的投资进入了回报期。

4.1.4 知识流分析 截至2003年年底,园区共有职业技术学院1所,普通中学10所,小学15所,幼儿园15所。共有在校学生32076人,其中职业技术学院有学生3061人,中学生有10444人,小学生有14123人,幼儿园学生有4448。各类教师总人数1772

人,其中职业技术学院有教师94人,中学有685人,小学有802人,幼儿园有191人。相对于前几年有了较大程度的改善,基本上可以确保园区教育需求。

表1 园区与发达国际能源效率比较

Table 1 Comparison of energy efficiency between the Park and developed countries				
国家或地区 Country or region	园区 The park	中国 China	德国 Germany	瑞士 Switzerland
能源系数 Energy efficiencyt (每百万美元) (per million dollars)	能源总消耗 All economic sectors 185	1046	126	80
	工业能源消耗 Industry sector 251	595	85	42

数据来源 Data Sources:世界资源报告 2002~2004 年;苏州工业园区年度统计报告(2002 年); World Resources 2002~2004; Annual Statistics of Suzhou Industrial Park(2002)

表2 园区生态系统 1994~2003 年的价值率变化情况

Table 2 Value rate changes of the ecosystem between 1994 and 2003										
年份 Year	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
价值率 Value rate	1.624	1.099	0.423	0.485	0.430	0.850	2.406	2.922	2.419	1.803

数据来源 Data sources:中国-新加坡苏州工业园区网; China-Singapore Suzhou Industrial Park(<http://www.sipac.gov.cn/>)

4.1.5 技术流分析 到2003年年底,园区核心区就业总人数为70695人,其中大专程度以上人数有23877人,占33.77%;中专、高中程度人数有46818人,占66.23%。如果按照岗位来划分,则园区管理人员共有9661人,占13.67%,工程技术人员共有12355人,占17.48%,其他人员共有48679人,占68.85%。尽管园区人员素质有了较大程度的提高,但由于园区多为外资,企业的技术装备水平无法用这些数据来衡量,也不取决于这些因素。相反地,更多依赖于企业在市场中的竞争氛围和文化导向。

4.2 园区系统优化战略

园区系统优化首先是完善园区产业链条,形成区域经济集聚核,避免远距离物质流通造成的高成本和交通污染,当然,完善产业链的过程中要严格控制高污染企业入园,对于实在不能入园而又是园区产业链条奇缺的环节,则按照虚拟园区的理念拓展园区地域空间,到周边地区寻求链条匹配。在此基础上,将园区生态系统看成一个整体,从经济活动的源头——招商开始,将循环经济理念贯穿到产业链条的各个环节,尽可能通过生态设计、清洁生产等技术,构建低消耗、低排放、低污染、高效率的“三低一高”生态经济系统。

4.2.1 产业链生态化战略 产业链生态化是指依据生态学原理,从产业链上、下游产品配套的角度设计或改造产业链条,使园区的产业发展不仅具有集聚优势,既增强现有企业竞争力和发展能力,使其不断增资扩产,又增强对新资本的吸引力,而且将循环经济理念贯穿于整个产业活动中,以实现整个产业链条资源利用效率和效益的最大化。

4.2.2 核心技术提升战略 核心技术提升战略就是要采取政策、税收等优惠条件,鼓励企业研发机构进入园区,孵化和培育园区研发基地。充分利用江苏教育大省的有利条件,加强与高校及科研院所的科技合作,大力提高园区研发能力。对于研制和开发具有自主知识产权产品的企业要适当给以扶持,尤其是内资企业,适当时候可以通过基金资助、企业配套的方式鼓励有能力的企业进行核心技术开发,鼓励内资企业走出去,与国外公司联合,一方面可以学习国外的先进经验和技术,另一方面通过合作提高园区内资企业技术水平和研发能力。

4.2.3 能源可持续利用战略 能源可持续利用战略就是以产业生态学和循环经济理念为指导,配合西气东输工程,加快天然气的普及利用,实现能源结构的战略性调整;坚持节能优先,开展节能产品认证和标识活动,提高产业活动中的能源利用效率,建立园区能源安全保障体系。

4.2.4 绿色供应链战略 绿色供应链战略主要是通过对生产过程的采购、营销节点控制和制造等环节的过程控制,实现生产全过程的绿色化。园区推行绿色供应链战略首先是要制定行业物料使用规范,禁止生产和使用可能造成后段工艺或产品使用过程中严重污染环境的原料,对可能造成后段环境污染而目前尚无替代品、暂时无法禁止的原料,规定逐步淘汰时间表,加大功能替代型绿色原料和环境材料的开发应用。绿色制造中要充分利用现代信息技术,完善企业组织方式和运营方式,实现由传统征服自然的“加工”向“天人合一”的适应与协作思维的转变。

4.2.5 生态服务战略 生态服务是指包括仓储、运输以及为生产型企业提供的所有服务的总称。园区应鼓励第3方物流业的发展,督促和扶持它们不断提高管理的现代化、信息化及综合服务水平,把企业做大做强;加快现代物流园的建设,培育和形成具有区域竞争力的集仓储、运输及服务于一体的大型物流企业。同时,通过对这些典型规模物流企业的环保规范约束,带动和督促中小物流企业的绿色化,推动园区整个物流行业的绿色化进程;完善和壮大第3方企业服务市场,通过良好的第3方产品售后服务和废旧物资的回收处理和资源化服务,提高资源能源的利用效率和产品的非物质化水平。

5 结论

本文在深入分析目前生态工业园建设过程中存在问题的基础上,阐述了建立生态工业园区生态系统基础理论和调控机制的重要性。为此,本文详细论述了生态工业园区生态系统的特点以及在该类系统中增加技术流 and 知识流分析的必要性,同时,阐述了一般复合人工生态系统在解释该类生态系统时的不适应性,并以此为依据建立了基于社会子系统、环境子系统、经济子系统和资源子系统的四维一体生态工业园区复合生态系统结构框架,并对系统的物质流、能量流、信息流、价值流、技术流 and 知识流进行了分析和定量化表征。在分析系统功能时指出:只有当系统结构和功能协调一致时,系统各项功能呈现最优化,产生“共振”现象,此时,系统效益达到最大化,以此为依据,作者提出了基于绿色招商和绿色供应链管理的生态工业园区生态系统控制管理体系。

References:

- [1] Ernest A L. *Eco-Industrial Park Handbook*. 2001-09-19, <http://www.indigodev.com>.
- [2] Cote R P, and Cohe-Rosenthal E. Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences. *Journal of Cleaner Production*, 1998, **6**(3): 181~188.
- [3] Deng N S, Wu F. Research survey of Eco-Industrial Parks in several countries. *Journal of Safety and Environment*, 2001, **1**(4): 24~27.
- [4] Wang R X, Luo H, Peng Y D. Recent evolution of national eco-industrial demonstration parks. *Environmental Protection*, 2003, **3**: 53~56.
- [5] Lowe E S, Holmes D. *A field book for the development of eco-Industrial parks*. Report for the U. S. Environmental Protection Agency, Oakland, California: Indigo Development International, 1995. 67~72.
- [6] Lambert A J D, Boons F A. Eco-Industrial Parks: stimulating sustainable development in mixed industrial parks. *Technovation*, 2002, **22**: 471~484.
- [7] Ye Z Q, Zhong S H. Strategic design on construction of eco-industrial parks in China. *China Scientific Forum*, 2003, **4**: 7~11.
- [8] Cai X M. *Ecosystem Ecology*. Beijing: Science Press, 2000. 2~15.
- [9] Chi H, Dong F Q, Ji L. A study of an index system and an optimal model of sustainable development. *China Management Science*, 1996, **1**: 8~12.
- [10] Ye W H, Gang C. Reviews on assessment index system of sustainable development in United Nations. *China Population, Resources and Environment*, 1997, **7**(3): 83~87.
- [11] Yang D G, Chen S F, Niu W Y. Reviews on the four typical assessment index system of sustainable development. *Scientific Management Research*, 2001, **19**(4): 58~61.
- [12] Dou J T, Qi L Q. Research about evaluation index system of High-tech industrial development zones. *Scientific Technology and Management*, 2001, **9**: 9~11.
- [13] Cote E P, Hall J. Industrial parks as ecosystems. *Journal of Cleaner Production*, 1995, **3**: 1~2, 41~46.
- [14] Bian Y S. Value flow analysis of ecological engineering. *Environmental Science*, 1999, **20**(4): 104~107.
- [15] Yuan Z W, Lu G F, Li D E. Commodity value under sustainable development. *Chongqing Environmental Science*, 2003, **25**(12): 93~95.
- [16] Joseph Sarkis. Evaluation environmentally conscious business practices. *European Journal of Operational Research*, 1998, **107**: 159~174.
- [17] Handfield R B. Green supply chain: best practices from the furniture industry. *Proceedings-annual Meeting of the Decision Sciences Institute*, USA, 1996, **3**: 1295~1297.
- [18] Steve V W, Robert B H, Steven A M. The green supply chain: integrating supplies into environmental management process. *International Journal of Purchasing and Materials Management*, 1998, **4**: 2~10.
- [19] Jin D H, Wang J N. Circular Economy is a strategic choice for environmental protection in the 21st century. *Environmental Protection*, 2001, **10**: 36~38.
- [20] Duan N. Cleaner Production, Eco-Industrial Parks and Circular Economy. *Research on Environmental Science*, 2001, **14**(6): 1~8.

参考文献:

- [3] 邓南圣, 吴峰. 国外生态工业园研究概况. *安全与环境学报*, 2001, **1**(4): 24~27.
- [4] 王瑞贤, 罗宏, 彭应登. 国家生态工业示范园区建设的新进展. *环境保护*, 2003, **3**: 53~56.
- [7] 叶子青, 钟书华. 我国生态工业园区建设的宏观构想. *中国科技论坛*, 2003, **4**: 7~11.
- [8] 蔡晓明著. *生态系统生态学*. 北京: 科学出版社, 2000. 2~15.
- [9] 池宏, 佟凤勤, 计雷. 可持续发展的指标体系与发展规划优选模型研究. *中国管理科学*, 1996, **1**: 8~12.
- [10] 叶文虎, 全川. 联合国可持续发展指标体系述评. *中国人口·资源与环境*, 1997, **7**(3): 83~87.
- [11] 杨多贵, 陈勋峰, 牛文元. 可持续发展四大代表性指标体系评述. *科学管理研究*, 2001, **19**(4): 58~61.
- [12] 窦江涛, 蔡良群. 高新技术产业开发区可持续发展评价指标体系研究. *科技与管理*, 2001, **9**: 9~11.
- [14] 卞有生. 生态工程中的价值流分析. *环境科学*, 1999, **20**(4): 104~107.
- [15] 袁增伟, 陆根法, 李冬娥. 可持续发展条件下的商品价值. *重庆环境科学*, 2003, **25**(12): 93~95.
- [19] 金德辉, 王金南. 发展循环经济是 21 世纪环境保护的战略选择. *环境保护*, 2001, **10**: 36~38.
- [20] 段宁. 清洁生产、生态工业园和循环经济. *环境科学研究*, 2001, **14**(6): 1~8.