

HUAXUE GONGYEYUAN SHENGTAIHUA
GAIZAO YU GUIFANHUA GUANLI



化学工业园

生态化改造与规范化管理

张龙江 钱 新 编著

中国环境出版社

环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书

化学工业园生态化改造与规范化管理

张龙江 钱 新 编著

中国环境出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

化学工业园生态化改造与规范化管理/张龙江,
钱新编著. —北京: 中国环境出版社, 2015.12
(环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书)
ISBN 978-7-5111-2373-2

I. ①化… II. ①张…②钱… III. ①化学工业—
工业园区—生态化—环境管理 IV. ①X321.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 082872 号

出 版 人 王新程
策划编辑 丁莞歆
责任编辑 黄 颖 曹靖凯
责任校对 尹 芳
封面设计 宋 瑞

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67175507 (科技标准图书出版中心)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2015 年 12 月第 1 版
印 次 2015 年 12 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 15.25
字 数 328 千字
定 价 52.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究。】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

《环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书》

编委会

顾 问：吴晓青

组 长：赵英民

副组长：刘志全

成 员：禹 军 陈 胜 刘海波

总 序

我国作为一个发展中的人口大国，资源环境问题是长期制约经济社会可持续发展的重大问题。党中央、国务院高度重视环境保护工作，提出了建设生态文明、建设资源节约型与环境友好型社会、推进环境保护历史性转变、让江河湖泊休养生息、节能减排是转方式调结构的重要抓手、环境保护是重大民生问题、探索中国环保新道路等一系列新理念新举措。在科学发展观的指导下，“十一五”环境保护工作成效显著，在经济增长超过预期的情况下，主要污染物减排任务超额完成，环境质量持续改善。

随着当前经济的高速增长，资源环境约束进一步强化，环境保护正处于负重爬坡的艰难阶段。治污减排的压力有增无减，环境质量改善的压力不断加大，防范环境风险的压力持续增加，确保核与辐射安全的压力继续加大，应对全球环境问题的压力急剧加大。要破解发展经济与保护环境的难点，解决影响可持续发展和群众健康的突出环境问题，确保环保工作不断上台阶出亮点，必须充分依靠科技创新和科技进步，构建强大坚实的科技支撑体系。

2006年，我国发布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006—2020年）》（以下简称《规划纲要》），提出了建设创新型国家战略，科技事业进入了发展的快车道，环保科技也迎来了蓬勃发展的春天。为适应环境保护历史性转变和创新型国家建设的要求，原国家环境保护总局于2006年召开了第一次全国环保科技大会，出台了《关于增强环境科技创新能力的若干意见》，确立了科技兴环保战略，建设了环境科技创新体系、环境标准体系、环境技术管理体系三大工程。五年来，在广大环境科技工作者的努力下，水体污染控制与治理科技重大专项启动实施，科技投入持续增加，科技创新能力显著增强；发布了502项新标准，现行国家标准达1263项，环境标准体系建设实现了跨越式发展；完成了100余项环保技术文件的制修订工作，初步建成以重点行业污染防治技术政策、技术指南和工程技术规范为主要内容的国家环境技术管理体系。环境

科技为全面完成“十一五”环保规划的各项任务起到了重要的引领和支撑作用。

为优化中央财政科技投入结构，支持市场机制不能有效配置资源的社会公益研究活动，“十一五”期间国家设立了公益性行业科研专项经费。根据财政部、科技部的总体部署，环保公益性行业科研专项紧密围绕《规划纲要》和《国家环境保护“十一五”科技发展规划》确定的重点领域和优先主题，立足环境管理中的科技需求，积极开展应急性、培育性、基础性科学研究。“十一五”期间，环境保护部组织实施了公益性行业科研专项项目 234 项，涉及大气、水、生态、土壤、固废、核与辐射等领域，共有包括中央级科研院所、高等院校、地方环保科研单位和企业等几百家单位参与，逐步形成了优势互补、团结协作、良性竞争、共同发展的环保科技“统一战线”。目前，专项取得了重要研究成果，提出了一系列控制污染和改善环境质量技术方案，形成一批环境监测预警和监督管理体系，研发出一批与生态环境保护、国际履约、核与辐射安全相关的关键技术，提出了一系列环境标准、指南和技术规范建议，为解决我国环境保护和环境管理中急需的成套技术和政策制定提供了重要的科技支撑。

为广泛共享“十一五”期间环保公益性行业科研专项项目研究成果，及时总结项目组织管理经验，环境保护部科技标准司组织出版“十一五”环保公益性行业科研专项经费项目系列丛书。该丛书汇集了一批专项研究的代表性成果，具有较强的学术性和实用性，可以说是环境领域不可多得资料文献。丛书的组织出版，在科技管理上也是一次很好的尝试，我们希望通过这一尝试，能够进一步活跃环保科技的学术氛围，促进科技成果的转化与应用，为探索中国环保新道路提供有力的科技支撑。

中华人民共和国环境保护部副部长

吴晓青

2011 年 10 月

目 录

第 1 章 生态工业园与工业园生态化改造相关理论与研究进展	1
1.1 生态工业园概念	1
1.2 生态工业理论基础	2
1.3 生态工业园研究进展	16
1.4 我国生态化改造工作主要措施和经验	18
第 2 章 化学工业园生态化改造内容与模式	23
2.1 我国化学工业园发展现状	23
2.2 国外化工园发展现状	26
2.3 化学工业园生态化对策与改造模式	30
2.4 改造的主要工作内容	31
第 3 章 化学工业园生态化评价研究	44
3.1 指标体系研究现状	44
3.2 指标体系的设置原则与程序	49
3.3 评价指标体系构建	52
3.4 指标权重的确定	58
3.5 评分方法	68
3.6 计算模型	69
第 4 章 基于 agent 的系统动力学模型的工业园共生系统研究	71
4.1 工业园共生规律研究	71
4.2 产业共生研究方法	79
4.3 案例研究——中国精细化工（泰兴）开发园区	85
4.4 结论	120

第 5 章 化学工业园生态化改造研究——中国精细化工（泰兴）开发园区	123
5.1 园区基础情况调查	123
5.2 园区生态现状评价	137
5.3 企业生态位及关键种企业	140
5.4 园区定位与系统设计框架	141
5.5 园区生态化改造	143
5.6 小结	193
第 6 章 基于系统动力学模型园区管理研究——南通市经济技术开发区	194
6.1 南通经济技术开发区概况	194
6.2 生态产业链构建及优化	200
6.3 基于系统动力学的生态工业系统模型构建	211
6.4 生态工业系统管理策略研究	220
6.5 小结	232

第 1 章

生态工业园与工业园生态化改造相关理论与研究进展

1.1 生态工业园概念

1.1.1 基本概念及特征

1992 年, 美国 Indigo 发展研究所 Ernest Lowe^[1]教授首次提出了生态工业园 (Eco-industrial park, EIP) 概念, 随后其他学者也对生态工业园进行了定义^[2, 3]。目前较为统一定义为: 生态工业园是继工业园和高新技术园之后的第三代工业园, 是目前工业园的最高级形态, 是生态工业的重要实践形式。它是由自然、工业和社会构成的一个区域性系统, 系统成员依据循环经济理论、生态学原理及清洁生产要求设计建立的一种新型工业园区, 通过成员之间的副产物和废物的交换、能量和废水的逐级利用、基础设施的共享来实现园区在经济效益和环境效益的协调发展, 具有横向耦合性、纵向闭合性、区域整合性和结构柔性等优势, 是区域层面循环经济的表现形式和具体实践。尽管生态工业园的定义不一, 但都是将生态环境保护和可持续发展思想渗透到工业体系的建设和运行之中。

Ernest Lowe^[1]指出, 生态工业园最本质的特征在于企业间的相互作用以及企业与自然环境间的作用。对生态工业园的主要描述是系统、合作、相互作用、效率、资源和环境, 这些显然是传统工业园难以同时具备的。

1.1.2 基本类型

纵观国内外各生态工业园, 各工业园都是因地制宜, 各具特色, 并没有一个统一的发展模式。目前, 生态产业园有以下几种分类: ① 按照建设的起点可分为全新规划型与现有改造型; ② 按照产业结构不同可分为核心企业型、共生型和嵌套共生型; ③ 按照行业组成不同可分为行业型生态工业园、综合型生态工业园和静脉型生态工业园等类型; ④ 按区域位置可分为实体型与虚拟型。

1.1.3 工业园生态化改造

改革开放以来, 我国已建和在建的开发区、高新区等各类工业园 9 000 多个, 其中国

家级工业园和高新技术开发区有 100 多个,但各类在建的生态工业园仅 29 个,已建成的生态工业园仅 21 个(截至 2011 年 1 月)。我国工业园基本上是靠廉价的土地和优惠的政策起步和发展的,经济发展粗犷,资源浪费严重,以牺牲环境为代价。经过 20 多年的建设,这些工业园已初具规模,有些园区已经成为当地的工业基地。随着国家环境保护力度的加大,园区建设如果重复以前的老路,资源消耗大而且不利于环境管理,困难重重。在原有园区的基础上改造重构(即生态化改造)无疑是一种行之有效的方法。

工业园生态化改造,是指现有工业园的基础上按照产业生态学、循环经济、清洁生产理念进行生态化的改造,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,采用废物交换、清洁生产等手段,通过不同企业或工艺流程间的横向耦合及资源共享,实现产品和副产品的信息共享与交换,最终实现园区在经济效益和环境效益的协调发展。

1.2 生态工业理论基础

1.2.1 开发区发展的相关理论与实践

1.2.1.1 开发区发展理论

国外开发区发展的理论依据主要有马克思的“规模经济理论”,讨论分工与协作利益的关系,还有取决于当地企业之间既竞争又合作的关系集合的“企业集群理论”,其中有代表性的有韦伯的“产业集聚理论”,从工业区位论角度对产业集聚进行深入研究;佩鲁的“增长极理论”,强调投资在推动性工业中,通过与其有投入产业联系的工业而导致全面的工业增长,与经济开发区的关系更为直接、更为密切;熊彼特的“创新理论”,是通过建立一种新的生产函数或供应函数,在生产体系中引进一种生产要素和生产条件的组合^[4]。

国内开发区发展理论主要是以科学发展观指导国家级经济技术开发区和国家高新技术产业开发区两类开发区定位、功能特色及空间演变、发展模式为特征。区域发展的“梯度论”把工业产生生命循环阶段理论引用到区域经济学中,产生了区域经济梯度转移论。

“智能园建设理论”是郑州经济技术开发区的新探索,它结合理论研究和实践探索,在借鉴国内外关于经济技术开发区理论研究成果的基础上,指出建设智能化园区是中国经济技术开发区未来发展的方向。“生态工业园建设理论”主要研究包括在总结国内外生态工业园的理论和实践成果基础上,对生态工业园规划的理论框架、系统设计、园区集成方法和园区景观生态规划进行了系统阐述,并进行实证分析^[5]。在“以经济和环境为优化目标的过程集成智能方法”的研究中,开展生态工业系统集成方法的研究与若干生态工业园的规划和建设工作^[6]。探讨生态工业园的生态环境规划问题,提出了工业园生态环境分析

与评价方法^[7]。以常熟市国际工业园为例,在区域生态调查的基础上,就生态工业园的土地适宜度和生态敏感性两方面提出土地评价方法^[8]。国家生产中心对生态工业园的评价指标体系进行了系统研究,提出指标评价体系的设计原则和评价内容^[9]。

1.2.1.2 国内外开发区发展实践

国外经济开发区的概念较为宽泛,通常又称为经济自由区,其设置目的主要是在交通发达地区和港口划出特定的区域,并通过特殊政策,以达到发展贸易、增加财政收入、创造就业机会、引进技术管理经验的目的,从而实现经济发展和繁荣。回顾世界经济开发区的发展历史,世界经济开发区大体经历了一个由单一功能向综合功能、由低层次向高层次方向逐步发展的过程,即从单一的贸易功能(自由港或自由贸易区),向工业、贸易双重功能(出口加工区),再向具有多种功能(综合型经济特区)不断发展完善的过程。20世纪90年代以后国外积极开展了生态工业园的实践。20世纪70年代初建立的卡伦堡工业园,经过几十年不断发展,已成为国际生态工业园的典范。在美国,有近20个生态工业园;在加拿大、日本和德国,很早就开始生态工业园的规划建设;泰国、印度尼西亚、菲律宾、南非等发展中国家,也正积极兴建生态工业园。总的来看,国外研究视野开阔,理论研究和应用研究并行,并开始出现了注重案例分析、规划实践和发展对策研究的新趋势。

国内经济技术开发区是在经济特区成功经验的基础上设立的,对开发区的研究内容涉及发展和运作模式、发展评估、体制和制度变迁、区位选择与发展布局、空间创新等,偏重于描述性和实证性研究。2001年以后,共建成了54个享受国家经济技术开发区政策的园区。

1.2.2 工业循环经济理论与方法

1.2.2.1 工业循环经济相关理论

(1) 循环经济与生态工业

2005年10月我国通过的《国民经济和社会发展第十一个五年规划》标志着在我国循环经济思想已从一种学术理论和一般实践上升为一种国家战略。国外对循环经济的研究较为具体,更多的是侧重于微观层面的实证研究,可以将其总结为关于生态产业物质流分析、生态效率评价以及关于环境治理,特别是垃圾治理研究两个方面。国内研究还大多是在相关概念及发展原则和方式上的比较和借鉴,而对循环经济的理论分析不深也不够全面,相关的理论论证和定量分析就更少。国外提出的投入产出模型是量化研究的主流,通过与其他方法结合并在区域做了实证研究,这给研究区域循环经济发展提供了思路:建立基于不同层次的生态调控模型,用多方法结合的综合集成管理解决系统管理问题。

1) 发展模式选择

随着循环经济理念逐渐被人们接受,经济发展模式正在由线性经济转向循环经济,人

类社会正处于线性经济向循环经济的转型期。循环经济倡导的是一种建立在物质不断循环利用基础上的经济发展模式,循环经济发展模式表现为“两高两低”,即低消耗、低污染、高利用率和低循环率,是符合可持续发展原则的经济发展模式。国内的循环经济已从思想层面转向实践,辽宁省提出实施循环经济省计划,在小循环、中循环、大循环以及废物处置和再生产四个层面全面推进循环经济。循环经济型生态城市建设模式:2004年贵阳市发布了《贵阳市循环经济型生态城市建设规划》;南京、天津等城市提出建设循环经济型生态城市试点;广西贵港工业园、广东南海工业园、山东烟台经济技术开发区、山东潍坊滨海经济技术开发区、山东鲁北工业园、辽宁大连开发区、新疆石河子分别开展了生态工业、循环经济的试点。

国际社会积极回应,发达国家走在了循环经济的前列。循环经济立法:德国在废弃物处理方面,建立了配套的法律体系;日本更是建立了循环社会的法律,从三个层面制定了基本法、两个综合性法律、5个产品性质的具体法律法规。循环经济政策支持:多角度的政府奖励政策、税收优惠、政府优先购买、收费政策、征税政策。健全的社会中介组织:德国的双轨制回收系统,又称DSD模式;日本的回收情报网络,通过沟通信息、调剂余缺推动减量化;加拿大的中介活动,美国的社区协调中介机构。鼓励公众参与:世界环境政策的演变已经到第三代,第三代是在完善政府和企业作用的基础上要求实行信息公开,其实质是实现公众监督和企业的自律,需要公众的参与意识和参与能力的提高。运用各种手段和舆论传媒加强对循环经济的社会宣传:日本尽量减少废物发生,引导环保消费、教育市民和单位减少浪费、增进反复利用意识。

全球增加的人口及其对物质资料需求的刚性增长,使人们在创造和享受工业文明成果的同时,最大限度地减轻工业发展的负面影响,从而实现经济的持续增长和人与自然的和谐相处。经济学家和工业界对工业的发展模式进行了大量的探索,工业循环经济模式作为一种可持续发展模式走上历史舞台。

2) 生态工业模式

中国循环经济发展目标,应建立一个“321”模式:“3”包括生态工业体系、生态农业体系、生态服务业;“2”指生产和消费两大领域;“1”指废旧资源再利用和无害化处置产业链。在工业循环经济理论研究和具体实践中,通常用“生态工业”这种表述,其中生态工业体系是应用现代科学技术所建立和发展起来的一种多层次、多结构、多功能的变工业排泄物为原料,实现循环生产、集约经营管理的综合型工业生产体系。与工业生态学理论的结合是循环经济发展的新趋势。

工业生态学理论和实践提倡以系统的观点看待工业生产与物资循环,鼓励企业之间的相互合作,将副产品作为资源在企业之间交换,从而减少工业产生的污染。生态工业是仿照自然界生态过程物质循环的方式来规划工业生产系统的一种工业模式,在生态工业系统中各生产过程不是孤立的,而是通过物料流、能量流、信息流互相关联,一个生产过程的废物可以作为另一个过程的原料加以利用,生态工业追求的是系统内各生产过程从原料、

中间产物、废物到产品的物质循环,达到资源、能源、投资的最优利用。

20世纪90年代以来,各国学者和政府实施可持续发展战略的过程中清醒地认识到,当代资源环境问题日益严重的根源在于工业化运动以来以“高开采、低利用、高排放”(所谓“两高一低”)为特征的线性经济模式。从物质流动和表现形态角度看,传统工业社会的经济是一种“资源—产品—污染排放”单向流动的线性经济。线性经济通过把资源持续不断变成垃圾的运动,通过反向增长的自然代价来实现经济数量型增长。与此不同,循环经济倡导的是一种与地球和谐的经济发展模式。它要求把经济活动组织成一个“资源—产品—再生资源”的反馈式流程。所有的物质和能源能在经济循环中得到合理和持久的利用,从而把经济活动对自然环境的影响降低到最低水平。

循环经济是一种善待地球的经济发展新模式,它要求划分在生产和消费活动中倡导新的行为规范和准则。3R原则,即减量化原则(Reduce)、再利用原则(Reuse)、再循环原则(Recycle),是实施循环经济战略思想的基本指导原则。循环经济研究相关技术方法包括:

对经济系统进行物流分析。循环经济的生态经济效益最终体现在经济系统的物流变化上,该系统应尽可能大幅度地减少资源输入流,并大幅度地减少废物输出流,同时尽可能地使资源的使用限度发挥到最大。

运用生命周期理论进行评估。生命周期评估(Life Cycle Assessment)要求从物质和能源的整个流通过程(开采、加工、运输、使用、再生循环、最终处置6个环节)对系统的资源消耗和污染排放进行分析,从而得到整个系统的物流情况和环境影响,由此评估系统的生态经济效益。因此,不能简单地认为某种天然物品替代了人工物品就是有利于环保的,必须从整个系统过程进行分析和评价,从而得出正确的观点。

中国将循环经济作为解决制约经济发展的资源环境问题手段,进行了数年的研究与实践,目前尚存在两个突出矛盾。一是政府制定宏观政策与贯彻执行缺位的矛盾。由于国内大部分地区尚在探索构建循环经济的系统,特别是法规与标准、激励与惩罚等手段的不完善导致企业执行主体缺乏实施循环经济的动力。二是循环经济概念引用多与适用技术运用少的矛盾。循环经济涉及经济学、社会生物学、化学、物理学及生产技术等多个学科和领域,学者普遍强调循环经济作为一种环保理念的含义及其在解决生态问题中的意义,对适用技术的研究较少。

(2) 清洁生产理论

企业清洁生产作为生态工业重要层次之一,组织企业内部物料循环是循环经济在微观层次的基本模式。这方面的典型事例是化学制造业的龙头老大——杜邦化学公司。为改善人类生存和生活条件,人类最初实行了末端治理,现在已经成为经济可持续发展的严重障碍。国内外污染防治的经验证明,清洁生产是工业污染防治的最佳模式和有效途径。清洁生产的优势是经济效益和环境效益的统一,末端治理是清洁生产的补充,是清洁生产的最后环节。

联合国环境规划署和我国在《清洁生产促进法》中定义了清洁生产,其内涵包括清洁的能源、清洁的生产过程、清洁的产品。我国已在各行业大力推进实施清洁生产,并开展了清洁生产审计。目前审核的重点在企业,清洁生产审计是企业实施清洁生产的重要内容和有效工具,是对企业现在和计划进行的工业生产实行污染预防的分析和评估。各企业可以了解自己的生产情况,结合物质消耗,污染排放强度及其行业特点,挖掘企业自身生态化潜力内容,推进清洁生产审计。可为管理部门提供反馈信息,加强监督。

(3) 生态工业发展载体——生态工业园

生态工业园是生态工业的具体实践。单个企业的清洁生产和厂内循环具有一定的局限性,而生态工业园就是要在更大的范围内实施循环经济的法则。它把不同的企业联结起来形成共享资源和互换副产品的产业共生组织,使得一家工厂的废物成为另一家工厂的原料和能源。丹麦卡伦堡是目前世界上工业生态系统运行最为典型的代表。

生态工业园模式的研究尚处于开拓创立阶段,是建立在不同建设类型的基础上,具有稳定性、典型性、超前性特点。国内外生态工业园模式主要有:两种工业共生模式;体现能流、物流循环的核心工业模式;企业内部小循环模式;以对环境友好为目的的模式。国内大多数工业园,仅仅简单地把工厂集中,有些地方,工业园甚至成为集中污染的特区。2007年6月,国家环保总局在对11个省126个工业园检查中,发现有110个存在违规审批、越权审批、降低环评等级和“三同时”不落实等环境违法问题。国际上,生态工业园已经通过实现循环经济,较好地解决了“集中排污”问题。其中美国查塔努加市作为全美钢铁制造业中心,政府运用生态工业学原理构建产业链,实现了物质闭路循环,建成世界上第一个“零排放”的工业园^[10]。

生态工业发展模式研究应将物质流动和物质集成为重点,关键要做好区域重点行业 and 核心企业的管理,使物质流动和集成模块化、科学化、理论化。借鉴国内外生态工业园优秀模式,建立和谐、统一、独具特色的运作模式。构建的技术方法主要包括:工业现状调查评价,综合评价,区域总体现状评价及潜力分析,系统集成与要素流动分析,生态工业模式优化设计与分析。

此外,博弈论(Game Theory)对于经济活动中具有策略依存性的策略选择问题的应用研究也在扩大。博弈论也称为对策论,是研究决策主体的行为发生直接相互作用时的决策以及这种决策的均衡问题,即一个主体(可以是一个人或一个组织)面对一定的环境条件,按照一定的规则,同时或先后,一次或多次,从各自允许选择的行为或战略中进行选择并加以实施,各自取得相应结果的过程。国内应用领域广泛,博弈论在构建生态产业链中的应用如陈瑾瑜、王朝全^[11]分析了上下游企业及政府部门在构建生态产业链问题上的不同利益动机及博弈行为;孙国栋^[12]从产业链成员企业间利益合理分配的角度研究了产业链的稳定性问题。因此,基于系统管理的开发区综合管理,有来自多方面利益主体的平衡决策问题,考虑资源优化配置方案及应急动态管理,实现协同运作管理。

1.2.2.2 循环经济发展调控方法

(1) 企业层面的清洁生产管理方法

清洁生产将企业环境保护与经济发展联系于一体,取得了明显的环保效果,并迅速从发达国家传播到发展中国家,但以企业个体为对象的清洁生产,仅能将工业企业的环境影响缩小到一定的限度,工业集中区环境依然是高风险区。

按照现有综合类生态工业园标准,具体园区生态化用企业物质减量,污染排放减量指标进行清洁生产相对效率评价,评价结果能确定园区推行清洁生产的近期、中期、远期方案,成为园区筛选清洁生产企业的标准。进行清洁生产相对效率评价,可以为企业提供一个将自身纳入园区循环经济发展的重要手段。还可以引进特征指标,比如生态网络指标、结构柔性、耦合度指标;引入具体综合评价方法,比如灰色聚类法、灰色关联度、模糊推理法;实行基于 DEA 的园区企业相对生态效率评价的实践。

(2) 园区层面的产业组分管理方法

产业生态化作为获取和维持可持续发展的一种实践手段,旨在倡导一种全新的、一体化的循环模式。人类产业经济系统包括经济成分或经济利益的多样性。多样性可以看作自然生态系统延续演化的关键,参照自然生态系统,产业系统多样化有益于产业生态化,极大提高了系统稳定性。生态工业园模式对产业生态系统的组成、功能结构、规模竞争、发展演化产生了重要影响。

现有工业园研究主要集中在区域物质流分析和生态效率评价,强调效率提高,而开发区功能的升级依赖于结构优化。生态效率高的不完全是稳定、成熟的产业共生系统,由于系统生态化研究欠缺,因此可以通过分析产业生态系统组分、结构多样性,评价系统功能的优劣,指导开发区产业生态网络的稳定、持续发展。生态工业园评价落后于生态工业园建设,主要采用区域与国内外类似地区类比分法。从评价应用对象上,更多的是对可持续发展或区域循环经济的评价,完全针对生态工业园的评价不多。

(3) 区域层面的生态工业系统管理方法

在现代工业的发展过程中,人们将制造更多物质产品称作“效率”,这种效率使得经济规模越来越大。将生产技术革新带来的物质利用及污染治理效率最大化的生态效率作为系统设计目标,忽视了一系列环境综合管理问题,特别是以工业为主导产业的经济技术开发区生态工业网管理问题已成为地区发展的“瓶颈”。开发区生态工业管理目前主要有基于基础数据库的信息管理系统,这已远远不能适应工业循环经济的发展,为了发展循环经济,实现系统效率,必须对开发区综合调控系统进行战略管理,以提高整体系统功能。开发区的产业升级仅仅依靠物质利用效率提高已远远不够,急需进行开发区层面的生态工业管理系统调控。循环经济决策支持系统的建设是实现这一过程的途径之一。

如何才能建立一个生态工业系统,国外已有实践经验说明,关键是企业间的相互合作,建立园区内企业间便捷沟通的信息网络是其中的重要一环;通过信用评级等方式披露企业

信息并进行监管,促进企业间良性合作的作用;相关技术研发和基础设施的完善都是国外生态工业园顺利运行的重要条件。

近年来,运用系统动力学(SD)模型进行区域研究成果逐渐增加,它集系统论、控制论和信息论为一身,融汇了组织管理理论的精髓,并采用计算机模拟技术,对于认识和处理高阶次、非线性、多重反馈的时变系统是一种极为有效的工具。系统动力学模型应用于区域经济可持续发展研究、城市开发新区社会经济发展战略研究、生态工业园水资源系统的仿真研究不断增加。因此,基于开发区产业系统特征,针对开发区的综合管理需求,结合SD在区域研究中的优势建立开发区生态工业管理系统的动态模型,能通过调整重要的有良好相互关系的系统变量,对开发区可持续循环经济发展情景的不同决策进行实验,最终服务于DSS。

1.2.3 产业生态学理论与方法

产业生态学(Industrial Ecology)自1989年提出概念,众多学者从学科发展角度、系统理论、产业生态学存在的意义和价值、研究的目标和意义等多个方面提出其定义。1989年9月,美国哈佛大学教授Robert Frosch和Nicolas Gallopoulos发表了题为《可持续工业发展战略》的文章,首次提出了“产业生态学”的概念。国内也涌现出了众多研究生态工业和生态工业园的专家和学者。产业生态学是站在资源瓶颈和环境约束的角度审视人类生产活动与其依存的资源 and 环境之间关系的一门新兴交叉学科,从产品生命周期角度出发,主要是研究企业行为、企业之间关联、产业与其依存环境的关系,目的在于认识和优化这种关系,从而实现人类生产活动的高效性、稳定性和持续性^[13]。

产业生态学相关技术方法包括:①工业代谢。工业代谢是产业生态学在发展初期普遍采用的分析方法,它既用于具体生产工艺过程中各种输入和输出的平衡分析,也用于某一地区、某一国家甚至全球范围内各种工业流的系统分析。②物质流分析。该方法将经济系统的物质流动分为输入量、输出量和储存量三部分,根据质量守恒定律,一定时期内经济系统的物质输入量应等于物质输出量和储存量之和。物质流的分析旨在分析一个国家或地区社会、经济活动背后的生态包袱和环境压力,同时提出缓解这种压力的途径。③生态重组(eco-restructure)。是指按生态学方式对工业系统进行重组,推动工业体系演进的战略,其本质就是按照自然生态学原理和自然生态系统运行方式来调整人类的活动。④生态工业园建设。生态工业园主要有以下基本建设途径:能源、原材料、水的相互交换;基础设施共享;物流、人流的联合运输;园区废物联合收集和运输;节省空间;提高设施的生态效率;服务设施的共享。

生态工业园是生态工业和产业生态学的重要实践形式,也是工业园区发展的高级形式。2006年国家环保总局发布了《行业类生态工业园标准(试行)》(HJ/T 273—2006)、《综合类生态工业园标准(试行)》(HJ/T 274—2006)和《静脉产业类生态工业园标准(试行)》(HJ/T 275—2006),用于三类国家生态工业示范园区的建设、管理和验收。2007年4月3

日,国家环保总局发布了《关于开展国家生态工业示范园区建设工作的通知》(环发[2007]51号)。

1.2.3.1 产业共生理论

产业共生(industrial symbiosis)起源于人们对自然界生物共生概念的思考。生态学中的“共生”指的是由于生存的需要,两种或多种生物之间必然按照某种模式互相依存和相互作用生活在一起,形成共同生存、协同进化的共生关系。随着产业开发活动规模的扩大,产业活动给自然生态系统造成的冲击已经成为经济活动不可忽视的一部分。产业共生是一定地域范围内的企业为了提升竞争优势而在资源节约利用和环境保护方面进行合作的一种经济现象。产业共生体系是一定地域范围的企业间共生关系的集合。从本质上讲产业共生是生态产业体系中企业的一种优化组织形式,尤其是企业与企业之间在环境保护方面的合作机制。

产业共生网络是为追求整体上综合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,是构成产业共生体的必要条件和核心内容。产业共生网络及依存环境(资源禀赋、制度安排、技术进步等)所构成的整体即为产业共生体系,产业共生研究的一个重要内容就是发现演化规律,指导现实中的产业共生体系设计和优化调控。

目前产业共生体系的演化路径一般用结构变化来表征,而体现结构变化的典型指标就是产业共生关系变化。目前主要研究包括从产业共生网络中企业的环境责任和形成流程来解释产业共生网络的形成机制;构建产业共生网络运营成本模型,得出包含各种变量的系统运营费用调控函数;提出基于技术可行性,经济可行性,社会、环境可行性的三位一体解析框架;由于新的研究发现产业共生体系演化除受市场竞争、资源禀赋、技术进步等要素影响,同时受制度安排、环境支撑、产业配套和产业基础等要素影响,要提出新的产业共生体系演化路径分析框架。

1.2.3.2 产业生态系统分析方法

(1) 产业代谢分析

产业代谢分析遵循的基本原理是质量守恒定律,其基本构成要素包括物质、过程、流量和流速;量化指标包括物质的再循环利用率、物质生产率。产业代谢分析的对象可以是某一元素或某一类物质;从研究层次上,分析的单元可以是某一企业或地理区域;从空间层次上,产业代谢可应用于一个国家或城市。

国内有研究将不同范围的物质代谢分为基于通量的物质流分析(MFA)和基于单一物质的物质流分析(SFA),两种方法针对的物质对象不同。其中MFA主要研究经济系统的物质输入与输出,还有产业部门物质流分析和产品生命周期评价。评价指标包括输入输出指标、消耗指标、平衡指标、强度和效率指标、综合指数。物质流分析方法利用投入—产出平衡表分析方法,对整个系统的物质流动状况进行分析,得到了简单的环境压力和可持