

产业经济问题研究丛书

CHANYE JINGJI WENTI YANJIU CONGSHU

循环型工业 理论与实证研究

杨洁 刘家顺/著

本书从理论与实证的角度，研究了我国发展循环型工业的理论依据、循环型工业系统建设，以及发展循环型工业的支持体系，并对我国循环型工业发展进行了评价，对我国发展循环型经济提出了政策建议和发展路径……

中国社会科学出版社

产业经济问题研究丛书
CHANYE JINGJI WENTI YANJIU CONGSHU

循环型工业 理论与实证研究

杨洁 刘家顺/著

中国社会科学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

循环型工业理论与实证研究/杨洁, 刘家顺著. —北京: 中国社会科学出版社, 2008. 12

ISBN 978 - 7 - 5004 - 7611 - 5

I. 循... II. ①杨... ②刘... III. 工业生产—自然资源—资源利用—研究—中国 IV. F424

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 007657 号

策划编辑 卢小生 (E-mail: georgelu@vip.sina.com)

责任编辑 卢小生

责任校对 李 莉

封面设计 杨 蕾

技术编辑 李 建

出版发行 中国社会科学出版社

社 址 北京鼓楼西大街甲 158 号

邮 编 100720

电 话 010 - 84029450 (邮购)

网 址 <http://www.csspw.cn>

经 销 新华书店

印 刷 北京新魏印刷厂

装 订 丰华装订厂

版 次 2008 年 12 月第 1 版

印 次 2008 年 12 月第 1 次印刷

开 本 710 × 1000 1/16

插 页 2

印 张 24.25

印 数 1—6000 册

字 数 393 千字

定 价 46.00 元

凡购买中国社会科学出版社图书, 如有质量问题请与本社发行部联系调换
版权所有 侵权必究

前 言

20 世纪 80 年代以来，我国经济建设保持着持续快速的增长，经济社会各个方面都取得了长足的发展，但同时也付出了沉重的代价。长期以牺牲资源、环境为代价的粗放型经济增长模式，使得我国在 30 年的时间里就出现了西方国家经过 100 多年发展所遇到的所有生态问题，诸如自然资源过度开发、自然生态恶化、环境污染严重，不仅造成巨大的生态损失和经济损失，还带来了生态安全问题。目前我国刚刚进入工业化中期阶段，重化工业、高耗能工业占有较高比重，资源总量和人均资源占有量不足与资源消耗数量的矛盾日趋尖锐。因此，大力发展循环经济，转变经济发展方式，实现经济的可持续发展就成为我国经济发展的战略重点和重大的战略选择。

我国“十一五”规划《纲要》中明确提出，落实节约资源和保护环境基本国策，建设低投入、高产出，低消耗、少排放，能循环、可持续的国民经济体系和资源节约型、环境友好型社会。党的十七大再次把加强能源节约和保护生态环境作为一项重要内容。报告中明确指出：“加强能源节约和生态环境保护，增强可持续发展能力。要完善利用节约能源和保护生态环境的法律和政策，加快形成可持续发展机制。落实节能减排工作责任制，开发和推广节约、替代、循环利用的先进适用技术，发展清洁能源和可再生能源，保护土地和水资源，建设科学合理的能源资源利用体系，提高能源资源利用效率，发展环保产业。”

工业是国民经济的主导产业，也是最适宜发展循环经济、最迫切需要发展循环经济的产业。一方面，工业系统是现代社会经济系统的核心，是社会发展的动力，它提供的产品和服务成为现代文明和社会生活的物质基础；另一方面，工业体系是人类社会与自然生态系统相互作用最

为激烈的一个子系统。具体表现在：它要大量地从自然资源库中提取和消耗各种可再生和不可再生原料，在生产社会所需的各种产品和提供各种服务的过程中大量地排放各种废弃物，不同产品在短时间被人们使用后，最终又以废弃物的形式返回自然环境。因此，工业体系与环境的关系是环境与可持续发展的关键环节，工业体系与自然环境的协调发展对国民经济的健康稳定运行起着举足轻重的作用。为此，构建循环型工业系统是我国大力发展循环经济、实施可持续发展战略的一个重要组成部分。

循环经济是一种符合可持续发展理念的经济发展模式，其核心是资源的高效利用和循环利用，以“减量化、再利用、资源化”为原则，以“低消耗、低排放、高效率”为目标，构筑“资源—产品—废弃物—再生资源”的闭路循环，有效利用资源和减少废弃物排放，实现对“大量生产、大量消费、大量废弃”的传统增长模式的根本变革。自20世纪60年代，美国经济学家肯尼思·博尔丁首次提出了循环经济理念，循环经济的理论研究和实践广泛展开，我国是在20世纪90年代末期对循环经济模式进行引进和探讨的，由此，关于循环经济的理论和实证研究不断深入，研究成果也很多。但现有研究大多集中在对循环经济本身（包括并购的内涵、动因、功能、运作程序、对策和生态园区）的研究上，而系统的对工业各产业发展循环经济的必要性和途径的研究还相对较少。近年来，国内外学者开始对这一问题给予关注并进行了相应的研究。

基于以上认识，本书将研究视角直接投向循环型工业理论与实证研究，在广泛借鉴和分析国内外发展循环经济的理论与实证研究已有成果的基础上，从提高工业产业资源利用效率，减少环境污染，实现经济可持续发展的目的出发，对工业主要产业的特征及在国民经济中的作用、发展循环经济的紧迫性和必要性、具体的运作方式和实现路径进行了研究和探索。

近年来，本书作者主持了有关循环型工业发展的省市级课题，掌握了大量的相关资料。本书是根据我国资源环境的现状，按照工业可持续发展的要求，结合自身多年的科研实践撰写的。本书在阐明循环型工业理论的基础上，突出了工业主要行业发展循环经济的实施路径研究。结构安排力求体系完整，所述内容力求通俗易懂，重点突出。

本书在写作过程中参考和借鉴了大量国内外近年来出版的循环经济方面的著作、报刊和相关研究成果，在此对有关作者和出版单位深表谢意。

同时，本院教师孙风琴，研究生陈小敏、孟祥霞、朱红芳、石何琳等，也为本书部分章节的写作提供了大量的资料和素材，在此一并表示感谢。本书只是我们在这一领域研究的一个阶段性成果，我们还要继续深入地对书中所涉及的内容进行研究。

由于受水平和掌握资料的限制，书中的缺点和不足在所难免，恳请同行、同学与读者批评指正。

作者

2008年10月28日

目 录

前言 / 1

第一章 绪论 / 1

- 第一节 研究背景及意义 / 1
- 第二节 国内外研究综述 / 5
- 第三节 研究思路与研究方法 / 13

第二章 循环经济的形成和发展 / 17

- 第一节 循环经济的内涵 / 17
- 第二节 循环经济的特征与运行原则 / 21
- 第三节 国内外发展循环经济的实践 / 27
- 第四节 循环经济是我国经济社会可持续发展的必然选择 / 38

第三章 发展循环型工业的理论依据 / 41

- 第一节 循环经济的理论基础 / 41
- 第二节 循环经济与相关理论的关系 / 63

第四章 循环型工业系统构建 / 80

- 第一节 循环型工业系统的构成 / 80
- 第二节 基于微观层面的生态企业建设 / 85
- 第三节 基于区域层面的生态工业系统建设 / 92
- 第四节 基于产业集聚的生态工业园区建设 / 97
- 第五节 基于宏观层面的社会循环经济系统构建 / 119

第五章 工业生态系统稳定性的机理与控制 / 124

- 第一节 工业生态系统稳定性的内涵及特征 / 124
- 第二节 工业生态系统稳定性的机理分析 / 128
- 第三节 工业生态系统稳定性的控制手段 / 142
- 第四节 工业生态系统稳定性的评价指标 / 158

第六章 循环型工业发展评价 / 163

- 第一节 循环型工业发展评价的意义 / 163
- 第二节 循环型工业发展评价指标体系的构建原则 / 165
- 第三节 循环型工业发展指标体系的框架和内容 / 167
- 第四节 循环型工业发展评价 / 170

第七章 钢铁产业循环经济路径 / 178

- 第一节 钢铁产业的特征及在国民经济中的作用 / 178
- 第二节 钢铁产业发展循环经济的紧迫性和必要性 / 186
- 第三节 钢铁产业发展循环经济的 SWOT 分析 / 193
- 第四节 钢铁产业发展循环经济的路径 / 197
- 第五节 钢铁产业发展循环经济的保障措施 / 207

第八章 煤炭产业循环经济路径 / 210

- 第一节 煤炭产业的特征及在国民经济中的作用 / 210
- 第二节 煤炭产业发展循环经济的紧迫性和必要性 / 214
- 第三节 煤炭产业发展循环经济的路径 / 224
- 第四节 煤炭产业发展循环经济的保障措施 / 239

第九章 电力产业循环经济路径 / 243

- 第一节 电力产业的特征及在国民经济中的作用 / 243
- 第二节 电力产业发展循环经济的必要性和紧迫性 / 245
- 第三节 电力产业发展循环经济的路径 / 253
- 第四节 电力产业发展循环经济的保障措施 / 262

第十章 水泥产业循环经济路径 / 266

- 第一节 水泥产业的特征及在国民经济中的作用 / 266
- 第二节 水泥产业发展循环经济的紧迫性和必要性 / 269
- 第三节 水泥产业发展循环经济的路径 / 278
- 第四节 水泥产业发展循环经济的保障措施 / 290

第十一章 装备制造业循环经济路径 / 295

- 第一节 装备制造业的特点及在国民经济中的作用 / 295
- 第二节 装备制造业发展循环经济的紧迫性和必要性 / 300
- 第三节 装备制造业发展循环经济的路径 / 304

第十二章 化工产业循环经济路径 / 314

- 第一节 化工产业的特征及在国民经济中的作用 / 314
- 第二节 化工产业发展循环经济的紧迫性和必要性 / 318
- 第三节 化工产业发展循环经济的路径 / 321
- 第四节 化工产业发展循环经济的保障措施 / 327

第十三章 包装产业循环经济路径 / 330

- 第一节 包装产业的特点及在国民经济中的作用 / 330
- 第二节 包装产业发展循环经济的紧迫性和必要性 / 334
- 第三节 包装产业发展循环经济的路径 / 339
- 第四节 包装产业发展循环经济的保障措施 / 345

第十四章 发展循环型工业的支撑体系 / 349

- 第一节 构建发展循环型工业的法律支撑体系 / 349
- 第二节 构建发展循环型工业的政策支撑体系 / 353
- 第三节 构建发展循环型工业的技术支撑体系 / 358
- 第四节 构建发展循环型工业的制度支撑体系 / 361
- 第五节 构建发展循环型工业的机制支撑体系 / 364
- 第六节 构建发展循环型工业的观念支撑体系 / 365

参考文献 / 368

第一章 绪论

第一节 研究背景及意义

一、研究背景

改革开放 30 年来，我国经济持续快速增长，经济和社会发展取得了举世瞩目的成就，但是资源和环境日益成为制约经济社会发展的重要因素。这虽然与我国资源人均占有量少有关，但更主要的是由于经济粗放型增长、资源利用率低、环境污染等原因所致。一些重要资源的对外依存度在不断上升，如果不改变这种状况，经济社会难以实现可持续发展，国家经济安全也会受到影响。要缓解我国资源、环境与经济社会发展的矛盾，最重要的是要贯彻落实科学发展观，调整经济结构，从根本上转变经济发展方式。而发展循环经济正是体现科学发展观，调整经济结构，转变经济发展方式的重要内容和切入点，是实现可持续发展的必然选择。

循环经济概念的提出是针对传统经济“资源—产品—污染物”单向流动的线型模式而言的，它带来的是一种“资源—产品—再生资源”的物质反复循环利用的新模式。循环经济本质上是一种生态经济，是一种以资源的高效利用和循环利用为核心，以“减量化、再利用、资源化”为原则，以低消耗、低排放、高效率为基本特征，强调经济和生态环境协调发展的新经济模式。大力发展循环经济，是构建和谐社会和建设资源节约型、环境友好型社会的必然选择。

工业是国民经济中最重要的物质生产部门之一。工业生产是运用物理、化学和生物等技术，从自然界开采资源，并对自然资源、农产品和它

们的中间产品进行加工和再加工的过程。工业是社会分工发展的产物,工业也是唯一生产现代化劳动手段的部门,它决定着国民经济现代化的速度、规模和水平,在国民经济中起着主导作用;工业还为自身和国民经济其他各个部门提供原材料、燃料和动力,为人民物质文化生活提供工业消费品;它还是国家财政收入的主要源泉。但工业在给国民经济创造巨大财富的同时,也是消耗资源最多、带来环境污染最严重的产业。工业是国民经济的主导产业,也是最适宜发展循环经济、最迫切需要发展循环经济的产业。

经济发展的现实,使得对循环型工业的运作模式和实现路径的研究成为现实的迫切要求。

二、研究意义

(一) 发展循环型工业是我国走新型工业化道路的重要途径之一

党的十六大报告指出,实现工业化是我国现代化进程中艰巨的历史性任务。信息化是我国加快实现工业化和现代化的必然选择。要坚持以信息化带动工业化,以工业化促进信息化,走出一条科技含量高、经济效益好、资源消耗低、环境污染少、人力资源优势得到充分发挥的新型工业化路子。走新型工业化道路是我国进入全面建设小康社会、加快现代化建设的重要任务。

党的十七大报告进一步提出:要“加快转变经济发展方式,推动产业结构优化升级”。要“建设生态文明,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”。循环型工业的本质特征是生态工业,生态工业是一种根据工业生态学基本原理建立的、符合生态系统环境承载能力、物质和能量高效组合利用以及工业生态功能稳定协调的新型工业组合和发展形态。它的核心作用是能够充分合理地利用资源,它遵循的是可持续发展的战略,坚持资源开发和节约并举,把节约放在首位,努力提高资源的综合利用效率,积极推进资源利用方式从粗放型向节约型的转变,转变传统的生产和消费方式。因而,按照生态经济规律,建立和发展现代生态工业体系,是走新型工业化道路的重要途径之一。

(二) 发展循环型工业是减缓我国自然资源消耗速度的重要方式

我国是一个发展中国家,自然资源人均占有量极低,环境容量不容乐观。目前,主要矿产资源人均占有量不足世界平均水平的一半,人均耕地、草地资源是世界平均水平的1/3,人均水资源是世界平均水平的1/4,

人均森林资源是世界平均水平的 1/5, 人均能源占有量是世界平均水平的 1/7。特别是作为工业“血液”的石油资源, 人均石油资源是世界平均水平的 1/10^①, 目前国内的开发和生产不能适应经济和社会发展的需要, 一些重要矿产资源不足的矛盾也日益突出, 某些重要原材料将长期依赖进口。据资料计算, 在我国的财富来源中, 人力资本占 77%, 产出资本占 15%, 而自然资本仅占 8%。如果按照生态工业的原理组织生产, 物质和能量在各个生产企业和环节之间进行循环和多级利用, 使原本要排出生产过程之外的废物变为资源被重复利用, 这就可以大幅度减少自然资源的耗竭。据粗略估计, 仅利用每年没有利用的固体废弃物和可回收利用的再生资源, 就可以保护价值达 500 多亿元的自然资源免遭损失^②。

(三) 发展循环型工业是治理环境污染的有效方式

改革开放 30 年, 伴随着我国经济的快速和持续发展, 环境污染问题也变得十分严峻。从水环境来讲, 全国七大河流和流经城市的河段 70% 都受到了不同程度的污染, 在一些地区, 因重金属污染而发生的中毒事件令人触目惊心。不少大中城市的空气污浊, 空气质量达标城市仅占 1/3。全国酸雨区已占国土面积的 30% 左右, 造成了巨大的经济损失。工业废弃物累计堆积量已超过 66 亿吨, 大约有 2/3 的城市陷入垃圾包围之中。因此, 如何在工业化快速推进的同时, 有效地控制工业对环境造成的污染, 改善环境质量, 已成为实现我国可持续发展战略急需解决的问题。而发展循环型工业, 通过建立循环型产业链, 如热电联产、集中联网等, 可以最有效地减少废弃物的排放, 甚至还可以使废弃物排放为零, 同时还能大大节约能源和资源。据测算, 我国能源利用率若能达到世界先进水平, 每年可减少 3 亿吨标准煤的消耗, 这将使大气环境质量得到极大的改善; 固体废弃物综合利用率若提高一个百分点, 每年就可减少约 1000 万吨的垃圾。

(四) 发展循环型工业是提高工业企业竞争力的重要手段

长期以来, 我国很多工业企业采用的是粗放型经营方式, 不仅消耗高、浪费大, 而且经济效益低, 企业竞争力不强。据有关资料, 我国矿产资源总回收率仅为 30%—50%, 比世界平均水平低 10—20 个百分点; 单

① 冯之浚主编:《循环经济导论》, 人民出版社 2004 年版, 第 18—19 页。

② 陈耀:《生态工业——新型工业化的重要方向》,《经济参考报》2003 年 2 月 26 日。

位产值能耗为世界平均水平的 2.3 倍,主要用能产品单位能耗比国外先进水平高 40%。这是造成企业成本上升和经济效益低的重要原因之一。按照循环型工业模式进行生产,将上一生产过程的废料或副产品作为下一生产过程的投入原料,这样就可以大大减少企业的能源和资源消耗,进而降低生产成本,提高经济效益,增强企业竞争优势。

(五) 发展循环型工业是企业应对国际市场竞争的必然要求

严格按照国际环境标准设计和生产产品,企业才能拿到进入国际市场的“通行证”。随着经济全球化和一体化的推进,环境问题也日益全球化,国际环保呼声日益高涨,环境排放标准和产品环境质量标准也日益严格。在倡导绿色产品和绿色消费的市场潮流下,我国的工业产品生产和消费必然要适应这一趋势,才能在国内市场上站稳脚跟。但是,目前我们有相当一部分企业还缺乏环境标准意识或者对其要求不甚了解,以至于近些年来我国因遭遇“绿色壁垒”受阻的出口产品价值高达数百亿美元。对此,必须要高度重视发展循环型工业,在企业布局和企业内部生产过程设计上都要遵循生态学原理,在生产中严格执行国际环境标准,应对“绿色贸易壁垒”的挑战,适应国际竞争的新要求。

(六) 发展循环型工业是改变环境治理的有效方式

从总体上看,我国对工业污染仍主要采取“末端控制”方式,这不仅需要投入大量的人力、技术和资金,也给政府和企业带来沉重经济负担。这种方式不仅投入高、费时费力,而且与提高经济效益没有明显关系,企业普遍缺乏治理污染的积极性。事实上,末端污染治理是一种治标而不治本的方式,使得经济发展与资源合理利用及环境保护不能协调一致。工业生态理论的发展,提出可持续发展工业必须实现从末端治理的被动环保主义向物质能量循环一体化的工业体系转变。循环型工业是按照自然生态系统的模式,强调实现工业体系中物质的闭路循环,其中一个重要的方式是建立工业体系中不同工业流程和不同行业之间的横向共生。通过不同企业或工艺流程间的横向耦合及资源共享,为废物找到下游的“分解者”,建立工业生态系统的“食物链”和“食物网”。发展循环型工业的一个重要目的,就是要从工业生产流程的产品设计、原料选择、工艺革新、技术进步和生产管理等各个环节入手,把污染尽可能控制在生产过程中,变被动治理污染为积极预防污染,从而实现环境管理方式的根本转变以及工业发展与环境保护的“双赢”。

第二节 国内外研究综述

一、国外研究综述

(一) 循环经济理念的提出与进展

循环经济思想的萌芽可以追溯到 20 世纪 60 年代。1966 年美国经济学家博尔丁 (Kenneth E. Boulding) 受到发射到太空的宇宙飞船的启发, 提出了“宇宙飞船理论”。他认为, 地球就像在太空中飞行的宇宙飞船, 飞船靠不断消耗自身有限的资源而存在。如果人们像过去那样不合理地开发资源和破坏环境, 超过了地球的承载力, 就会像宇宙飞船那样走向毁灭, 只有不断重复利用其有限的资源, 才能延长其运转寿命。因此, “宇宙飞船”理论要求人类社会的经济活动从效法以线性为特征的机械论规律, 转向效法以反馈为特征的生态学规律, 要求以新的“循环式经济”代替旧的“线性经济”。博尔丁的“宇宙飞船”理论在当时具有相当的超前性。这一思想标志着“循环经济”思想的早期萌芽。但非常可惜, 博尔丁虽然提出了循环经济这一新的理念, 并没有完成循环经济的系统研究。

循环经济的提出启发了 20 世纪 60 年代末开始的关于资源和环境的国际经济研究。70 年代, 发生了两次世界性能源危机, 经济增长与资源短缺之间矛盾凸显, 引发人们对经济增长方式的深刻反思。1972 年, 意大利罗马俱乐部发表了题为《增长的极限》的研究报告, 首次向世界发出了警告: “如果让世界人口、工业化、污染、粮食生产和资源消耗像现在的趋势继续下去, 这个行星上的增长极限将在今后一百年中发生。”同年, 联合国发表了《人类环境宣言》, 提出了人类在开发利用自然的同时, 也要承担维护自然的责任和义务。与此同时, 人们逐渐认识到环境污染的危害, 国际社会有组织地开展了环境保护运动, 但是当时的污染治理是一种“末端治理”的环境保护方式。

循环经济拓宽了 20 世纪 80 年代的可持续发展研究, 把循环经济与生态系统相联系。1983 年成立的以挪威首相布伦特兰 (C. H. Brundland) 为主席的联合国世界环境与发展委员会专门研究这一问题, 经过十年的工作, 该委员会于 1987 年向联合国提交的总报告《我们的未来》中, 专门

设立了“公共资源管理”一章，来探讨通过管理实现资源高效利用、再生和循环，正式提出了可持续发展的新思路。1989年，美国福罗什在《加工业的战略》一文中，首次提出工业生态学概念，即通过将产业链上游的“废物”或副产品，转变为下游的“营养物”或原料，从而形成一个相互依存、类似于自然生态系统的“工业生态系统”，为生态工业园建设和发展奠定了理论基础。人们注意到应该采取资源化的方式处理废弃物，开始关注废弃物的再利用，从思想上和政策上对循环经济有所体现。但是，对于废弃物的产生是否合理、是否应该从生产和消费源头上防治污染产生等根本性问题，大多数国家仍然缺少相应的政策措施。

20世纪90年代以后，可持续发展与循环经济成为国际社会的共识。随着环境革命和可持续发展战略成为世界潮流，源头预防和全过程治理替代末端治理成为国际环境与发展政策的主流。当时学者和政府部门系统地认识到，当代资源环境问题日益严重的根源在于工业化运动以来高开采、低利用、高排放的线性经济模式及其末端治理的局限，例如，不能从根本上避免污染发生，治理污染的成本较高，企业仅满足于遵守环境法规而不是去投资开发污染少的生产方式等。在这种环境下，英国环境经济学家D. 皮尔斯（Pearce）和R. K. 特纳（Turner）通过不断的探索和总结，提出了人类社会未来应该建立一种以物质闭环流动为特征的循环经济理念，以此来实现可持续发展所要求的环境与经济双赢的战略目标。由此，逐渐形成将清洁生产、资源综合利用、生态设计和可持续消费等融为一体的循环经济战略思想。近年来，循环经济无论是在理论上还是在实践上都得到了实质性的发展。

总之，人类在发展过程中，越来越感到自然资源并非取之不尽，用之不竭，生态环境的承载能力也不是无限的。人类社会要不断前进，经济要持续发展，客观上要求转变增长方式，探索新的发展模式，减少对自然资源的消耗。

（二）循环经济理论研究的发展

对循环经济的认识，是一个循序渐进和不断深化的过程，理论研究是伴随着实践的进程而不断深入的，同时循环经济理论的发展还是与其他经济理论诸如生态经济学、资源经济学和环境经济学等渗透交织的。在博尔丁循环经济思想的指导下，国外许多学者和机构提出了发展循环经济的一些理论方法。

产业共生 (Industrial Symbiosis) 理论^①。产业共生的概念是受自然生态系统中的共生现象启发而来的。20 世纪 70 年代, 在丹麦的卡伦堡市产生了一种目前被人们称为典型案例的生态工业园系统。约翰·埃伦菲尔德 (John Ehrenfeld) 和尼古拉斯·格特勒 (Nicholas Gertler) 通过对卡伦堡市企业的研究, 指出企业间可相互利用废物, 以降低环境的负荷和废物的处理费用, 建立一个循环型的产业共生系统, 进而提出了产业共生理论。在政府的大力支持下, 卡伦堡市采取了利用工厂排出的废热为市区供暖, 利用制药厂的有机废物做肥料等措施。

产业生态 (Industrial Ecology) 理论。产业生态理论是美国通用汽车研究部的弗罗施 (Frosch) 和加洛波洛斯 (Gallopoulos) 于 1989 年在《科学美国人》上发表的《可持续发展工业发展战略》一文中提出的。其核心理念是将生态学的理论和方法, 用在工业生产体系的设计中, 将工业生产全过程类比作生态系统中的一个封闭体系, 研究工业活动与生态环境的相互关系。这样, 彼此相近的工业企业就可以形成一个相互依存、类似于自然生态中食物链的“工业生态系统”。文中提出了生态工业园的新概念。而布雷登·R. 艾伦比 (Braden R. Allenby, 1994) 更进一步指出, 一个理想的工业生态系统应包括资源开采者、处理者 (制造商)、消费者和废料处理者。由于集约再循环, 各个系统内不同行为者之间的物质流远远大于出入生态系统的物质流。

清洁生产 (Cleaner Production) 理论。联合国环境规划署工业与环境中心于 1989 年制订了清洁生产计划, 在全球范围内推行清洁生产, 并于 1998 年的第五次国际清洁生产研讨会上对其定义做了进一步的完善。清洁生产是指将综合预防的环境策略持续地应用于生产过程中, 以便减少对环境的破坏。环境规划署认为, 清洁生产是对工艺和产品不断运用一种综合性的预防性环境策略, 以减少其对人体和环境的风险。对于生产工艺, 清洁生产包括节约原材料和能源, 消除有毒原材料, 并在全部排放物和废弃物离开工艺之前, 减少它们的数量和毒性, 对于产品, 清洁生产的策略重点是减少产品整个生命周期对人类和环境的不利影响^②。美国环保局对清洁生产的理论有所发展, 提出了属于清洁生产领域的污染预防和废物最

① 赵涛、徐凤君主编:《循环经济概论》, 天津大学出版社 2008 年版, 第 5—6 页。

② 王学军、何炳光等编著:《清洁生产概论》, 中国检察出版社 2000 年版, 第 5 页。

小化概念。可以说,清洁生产理论是循环经济体系中发展最完善、实践最广泛的理念之一,荷兰则是清洁生产开展最好的国家。

生命周期评价(Life Circle Assessment, LCA)方法。在20世纪60年代末和80年代初两次石油危机的刺激下,欧美国家的一些研究机构从能源的角度开始了生命周期分析方法的研究。这种方法是一种针对产品、生产工艺以及活动对环境的压力进行评价的客观过程,它是通过对能量和物质利用以及由此造成的环境废弃物排放进行辨识和量化来进行的。这种评价贯穿于产品、工艺和活动的整个生命周期,包括原材料提取与加工;产品制造、运输及销售;产品的使用、再利用和维护;废弃物循环和最终废弃物弃置^①。

资源消耗和环境危害的评价和对产品环境特征分析及决策支持的工具,在循环经济中占有重要地位。它强调单个企业应在每一个生产过程即产品、工艺、分发和管理中寻求对环境影响的最小化。生命周期评价研究最早产生于1969年的美国可口可乐公司,主要是由该公司中西部资源研究所开展的针对可口可乐包装瓶进行评价的研究,是公认的生命周期评价研究开始的标志,自此以后LCA不断得到发展与完善。1990年,国际环境毒理会和化学学会(SETAC)主持召开了有关生命周期评价的国际研讨会,会议首次提出了“生命周期评价”的概念^②。1993年,SETAC出版了一本纲领性报告——《生命周期评价纲要——实用指南》,该报告为生命周期方法提供了一个基本的技术框架,并在报告中将生命周期评价由定义目的与范围的确定、清单分析、影响评价和改善评价四个有机联系的部分组成^③。这对生命周期评价理论的发展是一种巨大的推动。

零排放(Zero Emissions)理论。零排放理论是由欧洲实业家、前任联合国大学校长顾问格尼尔·波利(Gunier Pauli, 1994)提出,并于1995年在零排放世界会议上公布。所谓零排放,字面直译为“废物为零”,最初,零排放被认为就是排入环境的液态废物为零,而不考虑固体废物的排放。直到1994年,一个全新的“零排放”概念提出之后,它才

① Gradl, T. E., Allenby, B. R.: *Industrial Ecology*, New York: Prentice Hall Press, 1995, 108-109.

② 邓伟根、王贵明:《产业生态学导论》,中国社会科学出版社2006年版,第2—3页。

③ SETAC, Guide Lines for Life - Cycle Assessment: A Code of Practice, Brussels: SETAC Europe, 1993, 11.