

循环经济与清洁生产研究

段 宁/主编

生态工业评价 指标体系

乔 琦 傅泽强 刘景洋 万年青 王 军 岳思羽/著

新 华 出 版 社

循环经济与清洁生产



段宁 主编

生态工业评价指标体系

乔琦 傅泽强 刘景洋 著
万年青 王军 岳思羽

新华出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

生态工业评价指标体系 / 乔琦等著

北京: 新华出版社, 2006. 11

(循环经济与清洁生产研究 / 段宁主编)

ISBN 7-5011-7729-5

I. 生… II. 乔… III. 工业—环境生态学—评价—指标—研究
IV. X171

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 134793 号

循环经济与清洁生产研究 / 段 宁 主编

责任编辑: 李 宇 席建海 孔 岳

出版发行: 新华出版社

地 址: 北京石景山区京原路 8 号

网 址: <http://www.xinhupub.com>

邮 编: 100043

经 销: 新华书店

印 刷: 三河市腾飞胶印厂

开 本: 850mm × 1168mm 1/32

印 张: 92.25

字 数: 1600 千字

版 次: 2006 年 11 月第一版

印 次: 2006 年 11 月第一次印刷

书 号: ISBN 7-5011-7729-5

定 价: 330.00 元(10 册)

图书如有印装问题, 请与印刷厂联系调换 电话: (0316) 3116453

序

人类或许正步入几千年来最深刻、最广泛危机的起始时期：我们与自然界的冲突从来没有像今天这样激烈，地球的未来从来没有像今天这样充满了不确定性。

1733年凯伊发明飞梭纺织，1785年瓦特改良蒸气机，1770年英国的煤产量只有260万吨，1836年增加到3000多万吨。工业革命后的短短二百多年左右，人类创造的物质财富远远超过了过去几十个世纪的总和，二战以来，人类创造物质财富的加速度空前加大，但是，随着全球人口持续增长，工业化、城市化进程不断加快，资源枯竭、生态破坏和环境污染问题日益突出，人类的生存和发展受到严重挑战。资料表明，按照目前的消费速度，世界已探明的矿产资源储量可以开采的年限为：钾盐、煤炭、铝土矿、钴等100年以上，天然气、铬50~100年，铜、钨、镍、钼、铂、硼等30~50年，石油、铅、锌、锡、硫20~30年，锰、锑、金、银等10~20年。相当一部分工业化国家污染物排放总量仍在上升，许多发展中国家环境污染的程度十分严重。二氧化碳等温室气体的排放没有得到有效遏制，全球气候正在变暖已经成为各国公认的事实，由此造成的对人类生存环境的灾难性危害变得日益现实。有的科学家认为，人类如果不对全球气候升温及时妥善解决，其对人类的打击可能是带有毁灭性质的。

我国经济快速增长导致的资源和环境问题更加严峻。

2003年,我国成为世界第一煤炭消费大国和第二石油、电力消费大国,消耗世界当年总量近50%的水泥、35%的铁矿石、20%的氧化铝和铜,但创造的GDP却仅占世界的4%。现有荒漠化土地面积占国土总面积27.9%,每年仍在增加1万多平方公里。全国主要污染物如化学需氧量、二氧化硫排放量分别超过水环境和大气环境容量60%和80%。

21世纪头20年是我国的重要战略机遇期,也是经济增长与资源环境承载力之间矛盾最为凸显的关键时期。预测研究表明,2010年,我国45种主要矿产资源中有21种可以保证需求;2020年,可以保证需求的矿产仅为9种。铁、锰、铜、铝、钾盐等关系国家经济安全的矿石将严重短缺。到2010年,我国石油对外依存度将达到57%,铁矿石、铜、铝将分别达到57%、70%、80%。到2020年,石油进口量将超过5亿吨,对外依存度达70%。2020年我国GDP将实现翻两番的目标,如果沿袭传统的线性经济增长模式,按目前的资源消耗和污染控制水平,污染负荷将增加4~5倍,国家环境安全和经济安全将面临严峻挑战。

循环经济是以循环利用的自然资源和环境质量为物质基础,以减量化、再利用和资源化为行为准则,遵循生态规律,满足人类物质需求的一种崭新的经济形态。清洁生产是发达国家在反省传统的以末端治理为主的污染控制战略的种种不足后,提出的一种以源削减为主要特征的环境战略,是一种将综合预防策略持续应用于生产过程、产品和服务中,增加生态效率,减降人类及环境风险的创新性思想。不言而喻,循环经济和清洁生产是引导人类走向可持续发展的根本途径,对于我国的可持续发展尤其具有重大现实意义。

本套丛书的作者,都是长年在循环经济和清洁生产领域十分活跃、具有较高造诣的科研工作者。丛书内容主要以我国“十五”以来第一个国家层面的循环经济科技攻关项目成果为依托,以十几年来若干大型清洁生产国际合作项目产出为基础,从理论方法、战略模式、管理制度和工艺技术等各个方面,比较广泛又相当集中地代表了我国学术界在循环经济和清洁生产领域的最新研究成果。相信本套丛书的出版,有助于广大读者掌握近期动态,了解相关知识。

近几年来,我国的许多科学工作者在循环经济和清洁生产领域做出了大量可喜的高质量研究成果,我们希望这套丛书成为向同行学习和交流的平台,请广大读者对书中的不足之处批评指正。

段 宁

2006年7月20日

前 言

自 18 世纪中叶第一次产业革命以来,工业活动极大地推动了世界经济的发展,为人类创造了巨大的物质财富,满足了人类不断增长的物质与精神需求,为社会进步奠定了坚实的基础。工业作为对自然生态系统作用最为强烈的人工系统,在为人类社会发展和繁荣做出巨大贡献的同时,也导致了一系列威胁人类社会持续发展的不利因素,如水土资源枯竭、温室效应、臭氧黑洞、生物多样性锐减等。随着工业化、城市化进程的加快,以及人类对环境质量需求的日益提高,资源开发与环境安全成为未来人类所面临的一个重大的全球性问题。面对全球资源枯竭、环境退化的严峻形势,彻底反思传统工业发展模式,用全新的视角重新审视工业系统和环境的关系,走工业发展和环境保护相协调之路,已经成为世界各国实施工业可持续发展的题中要义。

生态工业是以工业生态学理论为基础,遵循可持续发展原则,按照生态经济学和系统工程学的基本原理和方法,在一个特定范围内建设经济高度发达、产业结构合理、生态环境良好、自然资源得到合理利用,经济发展和环境保护相互协调、良性循环的生态经济系统。它是推动经济发展从粗放型向集约型、生态型和效益型根本转变的最有效途径和手段。自 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。如今,生态工业园区正在成为许多国家工业园区改造和完善的

方向。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区,其他国家如印度尼西亚、泰国、菲律宾、纳米比亚和南非等发展中国家正积极兴建生态工业园区。建设生态工业示范园区也是我国推进循环经济的重要手段。自1999年启动生态工业示范园区建设试点工作以来,国家环境保护总局先后在企业相对集中的地区如广西贵港、山东鲁北、抚顺、包头等地区批准建立了一批生态工业示范园区;2003年以来,在经济技术开发区、高新技术开发区开展了循环经济试点,天津、烟台、大连、苏州等国家重点开发区相继开展了生态工业示范园区创建工作。截至2005年3月,国家环境保护总局已批准了18个国家生态工业示范园区。

随着我国生态工业示范园区建设的不断扩展、深入,建立适合国情的生态工业园区环境管理体系,使我国生态工业园区建设走上制度化、标准化、规范化之路,已成为政府管理部门一项十分紧迫的任务。生态工业(园区、技术)评价指标体系作为一套可测、可比的考核工具,能够为政府管理部门监察和管理在建生态工业示范园区提供科学依据,同时也能够正确引导各地开展生态工业园区建设工作。

本书汇集了中国环境科学研究院承担的国家“十五”科技攻关课题——“循环经济理论与生态工业技术研究”(2003BA614A-02)的成果,并在参阅大量国内外相关研究文献资料的基础上完成。本书比较系统地介绍了工业生态学产生的背景、基本理论、方法以及国内外研究现状与趋势,详细阐述了关于生态工业园区的定义、特征及分类体系,以及国内外生态工业园区研究和建设现状。作者在科学总结近几年来我

国生态工业示范园区建设模式的基础上,参照国内外最新研究成果,分别研制了综合类、行业类及静脉产业类生态工业园区评价指标体系。此外,作者还提出了生态工业代谢的概念模型,并阐述了产品代谢和废物代谢的基本理论;创新地提出了生态工业技术概念,研制了生态工业技术评价指标体系框架。

全书共分5章,其中,第1章由万年青主笔,第2章由乔琦主笔,第3章由刘景洋主笔,第4章由王军、岳思羽主笔,第5章由傅泽强主笔。全书由傅泽强博士负责统稿,首席专家乔琦研究员负责审核,李洋同志对书稿进行了认真校对。本书编写中参阅和引用了部分国内外文献资料,参考文献中只列出了其中一部分,尚有许多没有列出,在此向这些文献资料的作者表示歉意和感谢。本书的撰写过程中得到了“十五”科技攻关课题“循环经济理论与生态工业技术研究”课题组的大力帮助,特别是课题组组长段宁博士对本项研究提供了大量建设性的指导,国家环境保护总局科技标准司各位领导给予大力支持,中国环境科学研究院清洁生产与循环经济创新基地的其他同事也提供了大量帮助,在此一并感谢。

目前,工业生态学理论和实践在我国尚处于初级阶段,其理论和方法体系尚未建立,有待进一步完善。本书奉献的研究成果尽管具有一定的创新性,但仍需要在今后的研究实践中检验和不断完善。由于时间仓促,资料掌握有限,加之作者水平有限,纰漏和不足尚存,缺点和错误难免,敬请各位专家和读者批评指正。

著者

2006年6月6日

目 录

第 1 章 工业生态学	与生态工业园区	..... (1)
1.1	工业生态学基本理论	..... (1)
1.1.1	工业生态学的缘起	..... (1)
1.1.2	国外工业生态学研究现状	..... (3)
1.1.3	我国工业生态学研究现状	..... (11)
1.1.4	工业生态学研究展望	..... (14)
1.2	生态工业园区	..... (22)
1.2.1	生态工业园区概念的定义	..... (22)
1.2.2	生态工业园区类型	..... (26)
1.2.3	生态工业园区国内外进展	..... (29)
1.3	我国发展生态工业的意义和重点内容	..... (42)
1.3.1	目的和意义	..... (42)
1.3.2	重点内容	..... (45)
第 2 章 综合类生态工业园区评价指标体系	..... (49)	
2.1	评价指标体系总体框架	..... (49)
2.1.1	指标体系结构	..... (49)

2.1.2 目标层	(49)
2.1.3 准则层	(52)
2.2 评价指标选取与赋值	(54)
2.2.1 基本条件	(54)
2.2.2 指标值确定方法和依据	(54)
2.2.3 考核指标	(65)
2.3 评价指标体系功能	(67)
2.4 评价指标释义	(70)
2.5 案例分析	(81)
2.5.1 TEDA 生态工业园区总体框架	(81)
2.5.2 指标可达性分析	(87)
第3章 行业类生态工业园区评价指标体系	(89)
3.1 评价指标体系总体框架	(89)
3.1.1 构建方法	(89)
3.1.2 准则层设置	(91)
3.1.3 关系说明	(92)
3.2 评价指标选取与赋值	(94)
3.2.1 基本条件	(94)
3.2.2 指标值确定方法和依据	(94)
3.2.3 考核指标	(99)

3.3 评价指标体系功能	(100)
3.4 评价指标释义	(101)
3.5 案例分析	(111)
3.5.1 园区状况	(111)
3.5.2 指标测算	(113)
3.5.3 评价分析	(114)
第4章 静脉产业类生态工业园区评价指标体系	(116)
4.1 静脉产业发展现状与趋势	(116)
4.1.1 国外静脉产业的发展现状	(116)
4.1.2 我国静脉产业的发展现状	(125)
4.2 评价指标体系框架	(126)
4.2.1 构建原则	(126)
4.2.2 构建方法	(128)
4.2.3 指标选取	(129)
4.2.4 评价指标体系的可行性分析	(133)
4.3 评价指标体系的功能	(133)
4.4 评价指标释义	(134)
4.5 案例分析	(139)
4.5.1 日本北九州静脉产业类生态工业园区	(139)
4.5.2 我国废物再生利用产业	(147)

第5章 生态工业技术评价指标体系	(150)
5.1 概念与特征	(150)
5.1.1 定义及内涵	(150)
5.1.2 属性与特征	(151)
5.1.3 生态工业技术比较分析	(154)
5.2 生态工业代谢	(156)
5.2.1 概念模型	(156)
5.2.2 产品代谢	(159)
5.2.3 废物代谢	(160)
5.3 生态工业技术评价指标体系	(162)
5.3.1 目的和意义	(162)
5.3.2 评价指标体系设计原则	(163)
5.3.3 评价指标体系框架	(164)
5.3.4 评价标准和指标权重	(166)
5.3.5 评价对象、方法和步骤	(169)
5.4 指标释义	(173)
5.5 案例分析	(176)
5.5.1 薄板坯连铸连轧	(176)
5.5.2 高炉渣生产水泥	(186)
参考文献	(201)

第1章 工业生态学与生态工业园区

1.1 工业生态学基本理论

1.1.1 工业生态学的缘起

1977年,美国地球化学家克罗德(Preston Cloud)在一篇会议论文中首次使用“工业生态学”一词。1989年9月,美国通用汽车公司的研究部副总裁罗伯特·福罗什(Robert Frosch)和负责发动机研究的尼古拉斯·加劳布劳斯(Nicolas Gallopoulos)在《科学美国人》杂志上发表的题为《可持续工业发展战略》的文章,正式提出了工业生态学的概念,认为工业系统应向自然系统学习,并可以建立类似于自然生态系统的工业生态系统,在这样的系统中每个企业必须与其他工业企业相互依存、相互联系,从而构成一个复合的大系统,以便运用一体化的生产方式来代替过去简单的传统生产方式,减少工业对环境的影响,这个概念的提出标志着工业生态学的诞生。此后不同研究人员对工业生态学亦提出了自己的理解。

关于工业生态学的定义,不同学者看法不一,1995年加拿大的柯特(Raymond Cote)做了一番统计,有关工业生态学的不同定义达20多种。虽然工业生态学尚无统一定义,但学者们对于工业生态学在研究视角、观点、范围这三大要素方面还是认同的。

概而言之,工业生态学是一门新兴、蓬勃发展的综合、交叉学科,是一门研究人类工业系统和自然环境之间的相互作用、相互关系的学科,为研究人类工业社会与自然环境的协调发展提供了一种全新的理论框架,为协调各学科与社会各部门共同解决工业系统与自然生态系统之间的问题提供了具体、可供操作的方法,为可持续发展的理论奠定了厚实的基础。工业生态学追求的是人类社会和自然生态系统的和谐发展,寻求经济效益、生态效益和社会效益的统一,最终实现人类社会的可持续发展。

进入 20 世纪 90 年代后,工业生态学的研究不再停留在概念的探讨上,其理论与实践进入了蓬勃发展的阶段。工业生态学的研究以美国最为积极,20 世纪 90 年代初美国科学院就曾举行多次会议,对工业生态学的概念、内容、方法和应用前景等问题进行了研讨,形成了工业生态学的基本框架,此后在 1993 年成立的美国可持续发展总统委员会还专门召开会议对工业生态学的重要实践领域——生态工业园区进行探讨。除此之外,清洁生产杂志以及生命周期评价杂志等期刊还经常刊载工业生态学方面的内容。工业生态学的研究在美国的政府、学术界以及工业界都受到了高度的关注,这引起了世界其他发达国家的重视,从而使工业生态学出现了全球性的研究热潮。影响这一热潮的主要事件有二:一是 1997 年麻省理工学院出版了全球第一份《工业生态学杂志》,专门发表工业生态学的研究论文,使得工业生态学研究人员从此有了独立发表自己研究成果、进行学术思想交流的园地;另一个是美国工业生态学派的崛起,其中以 Iddo K. Wernick 和 Jesse H. Ausubel 等 16 人组成的维世奴帮(Vishnu Group)为代表。进入 21 世纪,工业生态学

研究更是进入了一个崭新的发展时期,2000年成立了工业生态学国际学会,使研究的全球普及化得到了提高。

1.1.2 国外工业生态学研究现状

20世纪80年代以来,国外学术界、工业界开始从不同角度开展工业生态学的理论研究与实践,逐步形成了工业生态学的概念和方法体系。1989年Frosch和Gallopulos正式提出工业生态学概念,认为工业系统应向自然生态系统学习,并可以建立类似自然生态系统的工业生态系统。此后,众多研究人员通过系统、定性、定量等多种方法对工业生态学进行了深入的研究,涉及的研究领域相当广泛,主要有以下几个方面:工业系统与自然系统关系的理论研究;原料与能量流动(工业代谢);物质减量化;技术变革和环境;生命周期规划、设计、评价;为环境设计;延伸生产者的责任;生态工业园区(工业共生系统);产品导向的环境政策;生态效益。

1. 工业系统与自然系统关系的理论研究

工业生态学把工业体系视为生态系统的—个特殊子系统,工业革命以来发展起来的工业系统在很大的程度上属于一级生态系统的范畴,从理论和方法上研究如何促使其向高级生态系统发展,从而与整个自然生态系统保持和谐的发展。

2. 原料与能量流动(工业代谢)

研究焦点集中于工业系统、区域和全球原料与能源流向的量化;原料与能源流动的环境影响以及减少环境影响的理论、

技术方法。Ayres 等人对经济运行中原料与能源流动对环境的影响进行了开拓性的研究,提出了工业代谢的概念并进行系统研究,奠定了原料与能源流分析的基本理论。其他一些学者则结合钢铁工业、化学工业、森林工业等部门对原料和能源流动的循环、转换、优化模式等做出了富有成效的探索。综合而言,目前工业代谢只是停留在概念层次,主要关注代谢事实的发现与方法的发展,在理论与实际操作上仍有待深入。原料与能源流动研究采用3种基本分析方法:质量平衡方法(Mass Balance);输入-输出分析方法(Input-Output Analysis, IOA);生命周期评价(Life cycle Assessment, LCA)。近年来一些学者提出了研究原料与能量流动更具体的新方法,Joosten 等人于1999年提出了原料流动分析新方法 STREAM(Statistical Research for Analyzing Material Streams),并采用这种方法对荷兰的塑料的流动进行了分析;Michaelis 等人采用熵(Exergy)分析方法研究了英国钢材部门的原料与能量流动,这些方法无疑为原料与能源流动分析开创了新的思路。然而,目前主要原料与能源流动分析研究方法局限于物质、能量在各个生产环节的流通,较少考虑物质、能量的转化问题,由此难以进行定量分析研究,如何进行量化分析是今后一个富有吸引力和挑战性的问题。

3. 物质减量化

物质减量系统化研究和物质减量与经济的关系研究是工业生态学家们关注的两个重要问题。Cleveland 和 Ruth 指出,对于特定企业、工业的原材料使用范围、运行机制、使用模式、物质减量引起经济层面的影响以及物质替代对环境的影响程度等问题也应引起重视。到目前为止,有关物质减量化的研