

工业生态学 生态工业园



劳爱乐 [美] 耿勇 编著



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

工业生态学和生态工业园

劳爱乐[美] 耿勇 编著

化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

工业生态学和生态工业园/劳爱乐[美], 耿勇编著.
北京: 化学工业出版社, 2003.1
ISBN 7-5025-4344-9

I. 工… II. ①劳…②耿… III. 工业-环境生态
学-研究 IV. X171

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 106567 号

工业生态学和生态工业园

劳爱乐[美] 耿勇 编著
责任编辑: 管德存 刘兴春
责任校对: 陶燕华
封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
化学工业出版社印刷厂印刷
三河市宇新装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 10½ 字数 282 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4344-9/X·244

定 价: 26.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

随着全球性环境危机的加剧，人们开始寻找新的环境管理手段和工具。工业生态学就是这样的一种新兴交叉学科。它的实质是通过模仿自然生态系统，按照其物质循环和能量流动的规律重新构建我们的经济系统，利用系统化、一体化的管理思想将经济系统纳入到自然生态系统的物质循环过程中，寻求环境、经济和社会综合效益的最大化。该学科自 20 世纪 80 年代末期诞生后就引起人们的极大关注，不仅理论上日趋完善，而且在实践上也得到广泛应用。不仅在发达国家，而且不少发展中国家正在把发展生态经济作为实现环境与经济协调发展的重要途径。

实践上，工业生态学的重要应用领域就是建设生态工业园。它是依据循环经济理论和工业生态学原理建立的一种新型工业组织形态。它通过模拟自然生态系统生产者——消费者——分解者的循环途径而改造我们的产业系统，以实现物质闭路循环和梯级利用；通过建立产业系统的“产业链”而形成工业共生网络，以实现物质、能量等资源的最优化利用，建立可持续的经济系统。目前，世界上已经有至少几十个生态工业园的项目处在规划或建设过程中，但大多数项目在发达国家，尤其是日本、美国和加拿大。然而，发展中国家在该领域也不甘落后，菲律宾、印度、泰国、印度尼西亚等国家也以各种形式开展了相关的实践活动。我国自 1999 年开始启动生态工业园示范项目，建立了第一个国家级贵港生态工业园示范区。在联合国环境署的帮助下，我国许多经济技术开发区也开展了生态规划和改造的项目，包括大连开发区、天津开发区、烟台开发区和苏州新区等在内。除此之外，广东南海、内蒙古元宝山、浙江衢州、大连高新园区、辽宁沈阳、鞍山、营口等地也相继开展了

生态工业园的项目。据不完全统计，目前各种生态工业园项目在全国不下 30 个。

本书系统论述了环境管理的进程，在此基础上提出了工业生态园的概念，并进而对相关理论进行了阐述。本书的重点是介绍有关生态工业园的理论与实践，包括概念、基本方法和工具、与周围社区的协调机制、规划、招商与融资、建设方向与领域、政策、设计、建设、管理、旧园区的生态化改造和副产品交换。本书还归纳总结了世界各地的案例，并重点介绍了日本在生态工业发展方面的经验，对于国内广大欲从事工业生态学研究的学者和欲开展生态工业园建设的工业区非常适用，同时也适合学习环境管理、环境工程、环境政策等专业的广大师生作为教材。

本书的第一作者劳爱乐 (Ernest Lowe) 是世界上第一个提出生态工业园概念的学者，他领导和参加了美国第一批生态工业园示范项目，并作为顾问参加了泰国、菲律宾、南非、斯里兰卡、波多黎各的生态工业园项目。他先后在工业生态学领域发表了多篇重要文章和专著，其中包括不久前为亚洲开发银行完成的生态工业园的设计手册。他是美国 RPP 国际公司的首席科学家，并是大连理工大学生态规划与发展研究所的首席科学家。目前，他正和大连理工大学生态规划研究所合作负责执行大连经济技术开发区的生态规划工作。

本书的第二作者耿勇是大连理工大学生态规划与发展研究所的副所长。他目前在加拿大达尔胡西大学师从国际最权威的生态工业园学者瑞蒙·考特教授攻读博士学位，他参加了联合国教科文组织《生命支持系统百科全书》中“工业生态学”部分的编写工作，并先后受联合国环境署、法国人类进步基金会、芬兰教育部、中国台湾工业研究院、中国香港理工大学、加拿大国际开发署等国际机构资助参加了多次工业生态学国际会议，并在国际著名期刊和国内学术杂志上发表了多篇文章。目前，他正负责执行天津开发区、大连开发区、内蒙古元宝山电厂的生态规划项目，并参加加拿大国际开发署、国家自然科学基金、辽宁省自然科学基金等有关生态规划的

国际和国内纵向课题。

由于时间仓促及作者水平有限，书中不足之处敬请读者批评指正。

编著者

2002 年 10 月

内 容 提 要

本书集作者多年在该领域的研究成果及国内外先进技术经验而成,系统论述了环境管理的进程,在此基础上提出了工业生态园的概念,并进而对相关理论和实践进行阐述。全书共分 15 章,重点阐述了生态工业园的概念,基本方法和工具,与周围社区的协调机制、规划、招商与融资、建设方向与领域、政策、设计、建设、管理、旧园区的生态改造和副产品交换。在归纳总结世界各地案例的基础上,介绍了部分成功生态工业园创建和发展的经验,并提供了大量相关资源。

本书兼顾生态工业园的理论、实践及典型案例,具有较强的理论性、可操作性和应用价值,适用于国内广大欲从事工业生态学研究的学者和开展生态工业园区建设的设计者、管理者,也适用于学习环境管理、环境工程、环境政策等专业的广大师生参阅。

目 录

1. 环境管理的发展进程	1
1.1 人类的环境危机	1
1.2 环境治理进程	7
1.3 从末端治理到清洁生产	11
2. 生态工业园区的简介	27
2.1 生态工业园的系统思想	27
2.2 定义生态工业园	28
2.3 生态工业园区发展的利益与风险	29
2.4 生态工业园发展的成本、风险和挑战	30
2.5 生态工业园——可能带来的机会清单	32
3. 生态工业园基础	35
3.1 清洁生产和工业生态学	35
3.2 可持续建筑、建设和规划	44
3.3 新的组织关系	47
4. 生态工业园和所在社区	51
4.1 各种相关的公共关系	52
4.2 相关人士的合作	54
4.3 整体方案的构建	57
4.4 生态工业园与社区的紧密结合	57
5. 生态工业园的规划和发展	61
5.1 所有权问题	62
5.2 选址问题	64
5.3 生态工业园的招商策略	66
5.4 项目组织	76
5.5 开发过程中的环境标准	81
6. 生态工业园的融资	86
6.1 介绍	86
6.2 生态工业园建设过程的融资层次	86

6.3	形成良好公私合作关系的基本步骤	89
6.4	社区资本投资项目	90
6.5	开发商和园区企业之间的伙伴关系	91
6.6	共同投资资金	92
6.7	生态工业园基金会	92
6.8	生态工业园的投资定位	93
6.9	减少风险	94
6.10	资助可持续发展	96
7.	日益崛起的可持续经济和生态工业园	99
7.1	综述	99
7.2	农业生态工业园	103
7.3	一体化资源回收工业园	111
7.4	可更新能源生态工业园	121
7.5	以电厂为核心企业的工业园	129
7.6	石化工业生态园	133
7.7	能源型生态工业园群落	142
8.	生态工业发展政策	147
8.1	简介	147
8.2	政策和政策组织的一体化	148
8.3	地方政策	150
8.4	资源政策	151
8.5	动机	155
8.6	研究合作	157
8.7	一揽子协议和环境影响评估	158
8.8	能源政策	160
8.9	反腐败政策	161
9.	工业生态园的设计战略	164
9.1	一体化的设计组	165
9.2	工业生态学的集成手段	167
9.3	后勤工程学和管理学	169
9.4	环境设计	170
9.5	工业新陈代谢	171
9.6	生命周期成本	171
9.7	网络的集成	172
9.8	整个系统的设计成本	173

10. 生态工业园的建设	199
10.1 建设项目的执行	199
10.2 建设由企业组成的社区	203
10.3 错误设计策略的及时调整	205
11. 生态工业园的管理	206
11.1 在一个生态工业园里的两个不同的管理利益	206
11.2 生态工业园管理人员的功能	207
11.3 管理组织	209
11.4 关键的管理问题	212
11.5 生态工业园指挥中心	215
11.6 各项分享的支持服务	216
12. 改造现有的工业园	219
12.1 简介	220
12.2 调查现状	223
12.3 生态工业园发展的重要一环——生态工业网络	225
12.4 组织结构的变化	230
12.5 工业园管理者的自我评估	231
13. 实现企业间的副产品交换	235
13.1 副产品交换绪论	235
13.2 副产品的交换对工业区的开发者和管理者的价值	238
13.3 发展副产品交换的指导方针	239
13.4 废物交换	252
13.5 与副产品交换的实施相关的潜在问题	253
13.6 副产品交换的公共事业单位的模式	253
13.7 用于副产品交换的软件	256
14. 案例综述	258
14.1 菲律宾的 PRIME 项目	258
14.2 泰国的一个绿色工业园区试验	260
14.3 中国贵糖集团和贵港生态工业城	262
14.4 印度案例	264
14.5 卡隆堡 (Kalundborg) 的工业共生	271
15. 日本生态工业的发展	282
15.1 生态工业的发展——实现可持续的社会	282
15.2 生态工业项目的推动因素和基本框架	283
15.3 案例研究	287

15.4 结论	301
附录	304
参考文献	319

1 . 环境管理的发展进程

1.1 人类的环境危机

环境问题是指人类活动给自然环境造成的破坏和环境污染这两大类。环境破坏是指由于人类不合理开发利用资源或进行大型工程建设,使自然环境和资源遭到破坏而引起的一系列环境问题,如植被破坏引起的水土流失、过度放牧引起的草原退化、大面积开垦草原引起的土壤沙漠化、乱采滥捕使珍稀物种灭绝等,其后果往往需要很长时间才能恢复,有的甚至不可逆转。

环境污染主要是指工农业生产和城市生活把大量污染物排入环境,使环境质量下降,以致危害人体健康,损害生物资源,影响工农业生产。具体讲,环境污染是指有害的物质,主要是工业的“三废”(废气、废水、废渣)对大气、水体、土壤和生物的污染。环境污染包括大气污染、水体污染、土壤污染、生物污染等由物质引起的污染和噪声污染、热污染、放射性污染或电磁辐射污染等由物理性因素引起的污染。

环境问题贯穿于人类发展的整个阶段。但在不同历史阶段,由于生产方式和生产力水平的差异,环境问题的类型、影响范围和程度也不尽一致。依据环境问题产生的先后顺序和轻重程度,环境问题的发生与发展,可大致分为三个阶段:自人类出现直至工业革命为止,是早期环境问题阶段;从工业革命到1984年发现南极臭氧空洞为止,是近现代环境问题阶段;从1984年发现南极臭氧空洞,引起第二次世界环境问题高潮至今,为当代环境问题阶段。

18世纪兴起的工业革命,曾经给人类带来希望和欣喜,因为工业化的兴起、城市化的发展、科学技术的进步,使人类的生活水平大为提高。例如,人口的死亡率不断下降,平均预期寿命不断提

高，更多的人享受到城市生活的便利，更多的儿童能够进入学校接受更多的教育，等等。诚然，人类发展又一次摆脱了“黑暗的中世纪”的阴影，人类文明又进入到一个前所未有的高度。然而，工业革命给人类带来的不仅仅是欣喜，还有诸多意想不到的后果，甚至埋下了人类生存和发展的潜在威胁。西方国家首先步入工业化进程，最早享受到工业化带来的繁荣，也最早品尝到工业化带来的苦果。在工业发达国家，20世纪50~60年代开始，“环境公害事件”层出不穷，导致成千上万人生病，甚至有不少人在“公害事件”中丧生。其中，有八起事件引人注目，被称为“世界八大公害事件”，从中，我们可以窥见工业革命后环境问题的严重性。这八起公害事件如下所述。

① 马斯河谷事件 1930年12月1日~5日，比利时马斯河谷的气温发生逆转，工厂排出的有害气体和煤烟粉尘，在近地大气层中积聚。3天后，开始有人发病。1周内60多人死亡，还有许多家畜死亡。这次事件主要是由于几种有害气体和煤烟粉尘污染的综合作用所致，当时的大气中二氧化硫浓度高达 $25\sim 100\text{mg}/\text{m}^3$ 。

② 多诺拉事件。1948年10月26日~31日，美国宾夕法尼亚州的多诺拉小镇，大部分地区持续有雾，致使全镇43%的人口(5911人)相继发病，其中17人死亡。这次事件是由于二氧化硫与金属元素、金属化合物相互作用所致。当时大气中二氧化硫浓度高达 $0.5\times 10^6\sim 2.0\times 10^6\text{mg}/\text{m}^3$ ，并发现有害尘粒。

③ 伦敦烟雾事件 1952年12月5日~8日，素有“雾都”之称的英国伦敦，突然有许多人患起呼吸系统疾病，并有4000多人相继死亡。此后2个月内，又有8000多人死亡。这起事件原因是当时大气中尘粒浓度高达 $4.46\text{mg}/\text{m}^3$ ，是平时的10倍；二氧化硫浓度高达 $1.34\times 10^6\text{mg}/\text{m}^3$ ，是平时的6倍。

④ 洛杉矶光化学烟雾事件 1936年在洛杉矶开采出石油后，刺激了当地汽车业的发展，至20世纪40年代初期，洛杉矶市已有250万辆汽车，每天消耗约 $1600\times 10^4\text{L}$ 汽油。但由于汽车汽化率低，每天有大量碳氢化合物排入大气中；这些碳氢化合物受太阳光

的作用，形成了浅蓝色的光化学烟雾，使这座本来风景优美、气候温和的滨海城市成为“美国的雾城”。这种烟雾刺激人的眼、喉、鼻，引发眼病、喉头炎和头痛等症状，致使当地人口死亡率增高；同时，又使远在百里之外的柑橘减产，松树枯萎。

⑤ 水俣事件 日本一家生产氮肥的工厂从1908年起在日本九州南部水俣市建厂，该厂生产流程中产生的甲基汞化合物直接排入水俣湾。从1950年开始，先是发现“自杀猫”，后是有人生怪病，因医生无法确诊而称之为“水俣病”。经过多年调查才发现，此病是由于食用水俣湾的鱼而引起。水俣湾因排入大量甲基汞化合物，在鱼的体内形成高浓度的积累，猫和人食用了这种被污染的鱼类就会中毒生病。

⑥ 富山事件 20世纪50年代，日本三井金属矿业公司在富山平原的神通川上游开设炼锌厂。该厂排入神通川的废水中含有金属镉，这种含镉的水又被用来灌溉农田，使稻米含镉。许多人因食用含镉的大米和饮用含镉的水而中毒，全身疼痛，故称“骨痛症”。据统计，在1963~1968年5年内，共有确诊患者258人，死亡人数达128人。

⑦ 四日事件 20世纪50、60年代，日本东部沿海四日市开设了多家石油化工厂，这些工厂排出的含二氧化硫、金属粉尘的废气，使许多居民因患上哮喘等呼吸系统疾病而死亡。1967年，有些患者不堪忍受痛苦而自杀，到1970年，患者已达500多人。

⑧ 米糠油事件 1968年，日本九州爱知县一带在生产米糠油过程中，由于生产失误，米糠油中混入了多氯酸苯，致使1400多人食用后中毒；4个月后，中毒者猛增到5000余人，并有16人死亡。与此同时，用生产米糠油的副产品黑油做家禽饲料，又使数十万只鸡死亡。

近些年来在不少发展中国家，也出现了与发达国家过去类似的情况。人们虽然从工业化中得到了一些物质利益，但是却破坏了大量宝贵的自然资源和人类赖以生存的环境，使发展中国家面临经济发展与环境保护的双重压力。例如，1984年印度博帕尔地区的一

家美国化工厂由于管理不善，缺乏维护、监控和培训系统，造成有毒的甲基异氰酸酯的泄漏，致使当地数千人死亡；不完善的城市规划也是造成这么多人丧生的一个原因；因为许多贫民窟就位于这家工厂附近。

污染问题之所以在工业社会迅速发展，甚至形成公害，与工业社会的生产方式、生活方式等有着直接的关系。

首先，工业社会是建立在大量消耗能源、尤其是化石燃料基础上的。在工业革命初期，工业能源主要是煤，直到 19 世纪 70 年代以后，石油作为能源才开始进入工业生产体系中，使工业能源结构发生了变化。在最近几十年，新的能源如水能、核能等才不断得到开发利用。但是，一直到今天，工业社会的能源依然以不可再生能源为主，特别是煤和石油。随着工业的发展，能源消耗量急剧增加，并很快带来一系列人类始料不及的问题。例如，英国在 19 世纪 30 年代完成了产业革命，建立了包括钢铁、化工、冶金、纺织等在内的工业体系，使煤的生产量、消耗量突飞猛增，从 $(500 \sim 600) \times 10^4 \text{t}$ 上升到 $3000 \times 10^4 \text{t}$ 。由此带来的污染问题也随之暴露出来，在 19 世纪末，英国伦敦就曾发生过 3 次由于燃煤造成的毒雾事件，死亡人数达到 1800 多人。

其次，工业产品的原料构成主要是自然资源，特别是矿产资源。伴随工业规模的扩大，采矿量呈直线上升。例如，日本足尾铜矿开采量在 1877 年不足 39t，10 年后，猛增到 2515t，增加了 60 多倍。大规模的开发与生产，引起了一系列环境问题。19 世纪末期，足尾引入欧美的冶炼法，以黄铜矿为原料冶炼纯铜，但黄铜矿含硫，而且含有剧毒的砷化物和有色金属粉尘，致使附近整片的山林和庄稼被毁坏，矿山周围 $24 \times 10^6 \text{m}^2$ 的地区成为不毛之地，受害中心的一个村庄被迫全部迁移。另外，由于铜矿排出的废水、废屑中也含有毒性物质，排入渡良濑川；1890 年洪水泛滥，污染的河水四处漫溢，使附近 4 县数万公顷土地受害，造成田园荒芜，鱼虾死亡，沿岸数十万人流离失所。

再次，环境污染还与工业社会的生活方式，尤其是消费方式有

直接关系。在工业社会，人们不再仅仅满足于生理上的基本需要——温饱，更高层次的享受成为工业社会发展的动力。于是，汽车等高档消费品进入了社会和家庭，由此引起的环境污染问题日益显著，例如上面提到的洛杉矶光化学事件。

最后，环境污染的产生与发展还与人类对自然的认识水平和技术能力直接相关。在工业社会，特别是工业社会初期，人们对环境问题缺乏认识，在生产、生活过程中常常忽视环境问题的产生和存在，结果导致环境问题越来越严重。当环境污染发展到相当严重并引起人们重视时，也常常由于技术能力不足而无法解决。

目前来讲，世界环境问题主要包括气候变化、臭氧层破坏、森林破坏与生物多样性减少、大气及酸雨污染、土地荒漠化、国际水域与海洋污染、有毒化学品污染和有害废物越境转移等，其中焦点又集中在南部不发达国家，尤其在亚洲、非洲、拉丁美洲。为了经济发展，许多发展中国家不惜以环境为代价，而地球的生命器官可以说基本在这些国家。例如，亚马逊雨林、东南亚、中非热带雨林是全球之肺，地球一半的氧气和三分之二的物种资源来自这三个地方。而现在它们正以每年十余万平方公里的速度遭到破坏，如果这种破坏仍保持这个速度，到 21 世纪中叶，这三片雨林将被剃光。雨林的减少会使二氧化碳增多，导致的温室效应使全球变暖，进而使极地冰川消融、大气环流异常，这会使海平面升高、导致很多地区缺水，使得土地荒漠化更加严重，而激增的人口又需要新的耕地，这就得毁林开荒，于是，人类陷入了一个环境怪圈。自己要发展，又要给子孙后代留条出路，这种情况使得可持续发展（既能保证当代人的发展，又不破坏后代人发展的能力）必然成为新世纪的主题。

中国的环境污染问题也是与工业化相伴而生的。20 世纪 50 年代以前，我国的工业化刚刚起步，工业基础薄弱，环境污染问题尚不突出，但生态恶化问题经历数千年的累积，已经积重难返。50 年代后，随着工业化的大规模展开，重工业的迅猛发展，环境问题初见端倪，但这时候污染范围仍局限于城市地区，污染的危害程度

也较为有限。到了 80 年代，随着改革开放和经济的高速发展，我国的环境污染逐渐加剧，特别是乡镇企业的异军突起，使环境污染向农村急剧蔓延；同时，生态破坏的范围也在扩大。

目前，中国的环境问题主要表现在水、空气、生物和土地资源的严重污染，其中首当其冲的是水污染问题。中国目前的缺水量在千亿立方米以上，被列为世界上两个最贫水的国家之一。全国 670 多座大中城市中有 400 多座不同程度地缺水，更有 110 多座严重地缺水，日缺水量达 $1600 \times 10^4 \text{m}^3$ 。水资源的短缺已经成为制约我国经济发展的重要因素，并会随着社会的发展和人口的增长而进一步制约经济的发展。尤为让人不安的是在如此严重的缺水情况下，大量水资源被污染。通过对我国七大水系（长江、黄河、松花江、珠江、辽河、淮河、海河）和太湖、巢湖、滇池的断面监测结果表明，63.1% 的河段水质为四类、五类或劣五类，丧失了饮用水功能，其中辽河和松花江的水污染尤其严重。我国近海海域由于水质污染和过度捕捞，使得近海生物资源下降。近海养殖所产生的污染也日益严重，仅 1998 年我国就监测到 22 起赤潮事件，遍布南海、东海、黄海和渤海，其中渤海锦州湾发生的大面积赤潮使海水变得红而浑浊，致使大量鱼死亡。此外，全国工业和城市污水每年排放量为 $584 \times 10^8 \text{t}$ ，只有 23% 经过集中处理达标排放，大量污水却得不到有效处理，既浪费水资源又加剧了水质污染。在大气环境质量方面，污染同样令人触目惊心。据统计，1998 年全国二氧化硫、烟尘和工业粉尘排放量分别为 $2090 \times 10^4 \text{t}$ 、 $1452 \times 10^4 \text{t}$ 和 $1322 \times 10^4 \text{t}$ 。中小城市的污染大于大城市，北方大于南方，产业集中区大于非产业化地区，冬季大于夏季。目前我国北方城市大气中降尘和颗粒物浓度 100% 超标，南方城市 50% ~ 60% 超标，冬季更为严重。酸雨问题也日益加剧，我国酸雨覆盖面积已占国土总面积的 30% 以上，并呈现明显的区域性特征，以重庆、贵阳和本溪等城市最为严重。酸雨现象造成大量农作物受到腐蚀，并对森林造成毁灭性打击。固体废物的排放量随着经济的快速发展而日益增加，仅 1997 年全国工业固体废物产生量就达 $10.6 \times 10^8 \text{t}$ ，其中包含