

21世纪环境科学前沿问题探索丛书·产业生态学

产业生态学

Industrial Ecology

袁增伟 毕 军◎编著



科学出版社
www.sciencep.com

21 世纪环境科学前沿问题探索丛书·产业生态学

产业生态学

袁增伟 毕 军 编著

国家自然科学基金(40971302、40501027)

国家科技支撑计划课题(2006BAC02A15)

资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

作为一本产业生态学基础教材,本书系统阐述了产业生态学领域的基
本理论和方法,重点突出了产业共生系统分析、模拟与评估方法体系。全
书共 11 章。第一章为绪言,通过回顾人类环境保护战略的演变过程来理
解产业生态学的诞生背景;第二章为产业生态学概述;第三章介绍产业生
态学基本理论——产业共生;第四至第六章为产业生态学的三种基本分析方
法——基于通量的物质流分析、基于单一物质的物质流分析和生命周期评
价;第七章介绍产业共生系统评估方法——生态效率的内涵与方法体系;第
八至十章分别介绍产业生态学理论和方法在工业过程、企业和生态工业园三
个层面的应用;第十一章介绍产业生态学领域的一个重要工具——GaBi 4
数据库平台。

本书既是环境科学与工程专业本科生基础教材,也可作为普通高等院
校本科生和研究生的学习用书,还可供从事人文地理、区域经济、可持续
发展、经济管理、社会学等研究的学者参考。

图书在版编目(CIP)数据

产业生态学 / 袁增伟, 毕军编著. —北京: 科学出版社, 2010.6

(21 世纪环境科学前沿问题探索丛书·产业生态学)

ISBN 978-7-03-027916-3

I. 产… II. ①袁… ②毕… III. 产业—生态学—研究 IV. ①Q149 ②
F062.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 109949 号

责任编辑: 李晓华 卜 新/责任校对: 钟 洋

责任印制: 赵德静/封面设计: 无极书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京市农林印务有限公司印刷

科学出版社编务公司排版制作

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 7 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2010 年 7 月第一次印刷 印张: 20

印数: 1—3 000 字数: 377 000

定价: 56.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

总序

改革开放 30 年是中国社会经济高速发展的时期,是社会经济-环境矛盾加剧、资源生态系统遭受严重破坏的过程,是充满了机遇与挑战的转型期。其间,环境科学作为一门新兴学科,在我国起步较晚,但却是综合性、交叉性、实用性极强的一门应用基础学科,为我国环境管理与科学发展提供了必要的科学指导。然而,在当前的环境科学研究中,基础理论体系相对薄弱,对传统自然科学、社会科学的依赖性很强,影响了学科的全面发展和实践应用。环境科学在 21 世纪所面临的重要任务是:完善研究领域、研究框架、基础理论及工具,为有中国特色的可持续发展提供科学指导,从而应对区域、国家、全球层面的各类环境问题。这是每一位环境科学工作者肩头的重担。

在长期的研究中,我们认识到:任何一个环境问题都不能仅靠单一的科学知识或实践方法来解决,尤其是一些在实验室里、在技术上看似能够解决的问题,往往因存在经济学、社会学、政治学范畴的障碍而无法实施。很多看似可以量化的研究在实践中往往面临数据或手段上的困难等。在 21 世纪日益严重的社会经济-环境矛盾中,环境科学亟待构建一个系统性、整合性、开放性的理论框架,充分考虑环境科学前沿问题,解决不断出现的环境挑战。本丛书的出版正是对这一理论框架的尝试性构建和先行探索。

环境科学长期被追问:是否存在一个体系(paradigm),这个体系应包括广为认可的基本理论和研究方法。我们的回答是模棱两可的。目前,这个体系还没有系统建立,也没有完全得到其他学科的认同。正因为如此,更有探索各学科(interdisciplinary)交叉的环境科学规律和方法学的必要。在长期的环境研究中,我们始终关注空间变异(spatial)、时间序列(temporal)、个性特点(unique)、现实有效(practical)、整体集成(integrated)、动态变化(dynamic)的视角。我们认为,把握好这六个方面,研究和实践就会成功一半。本丛书试图从不同角度来体现这样的研究思路。

中国环境科学研究的重要现实基础是:中国地区间发展很不平衡,一些发达地区社会经济发展水平较高,已基本形成包括循环经济规划、生态工业园建设、

生态市建设、排污权交易等一系列较为成熟的“环境管理范式”，而大多数地区还处于经济腾飞的发展中阶段，一些未开发地区还在能否温饱的困境中挣扎。这个前置条件要求我们在环境科学研究和环境保护实践中既要积极吸收环境保护先进国家的成熟理论和成功经验，也要紧密结合中国经济发展和环境保护的实际，注重本土化研究，形成有中国特色的环境保护理论和实践体系。因此，本丛书致力于自下而上与自上而下相结合的研究思路，但更多是自下而上的，多从我国环境管理的第一线工作出发，结合地方案例，探索解决环境问题的新方式，提炼环境科学的新思想。

本丛书分为总论和三个系列。在总论中，我们重点探讨“经济增长”与“经济发展”的区别，并结合各地不同的发展方式与实践经验，试图厘清发展与环境之间的协同与矛盾，重新描绘发展与环境质量的内涵。接下来，我们在环境风险管理、环境政策分析与设计、产业生态学这三个综合性、交叉性极为显著的环境科学领域进行基于多角度、多主体的探讨与分析，这也是我们长期倾力研究的领域。

(1) 环境风险管理。这一研究方向从环境风险生命周期过程的视角解析环境风险源属性、环境风险场时空特征、环境风险受体抗风险能力与环境风险强度、危害程度之间的关系，并从环境风险全过程调控的角度探讨环境风险源识别与分级管理、环境风险场模拟、环境风险预警、环境风险应急管理等新理论、新技术和新方法。主要内容包括：环境风险发生机制、环境风险全过程评估、环境风险感知、环境风险预警及应急系统、环境风险源管理、区域环境风险管理等。

(2) 环境政策分析与设计。这一研究方向致力于研究已有环境法规 and 政策的实施绩效，解析政府、企业、公众环境行为模式，挖掘转型期我国社会环境价值观内涵，创新规制，引导不同主体环保行为模式的政策体系，探索环境经济和社会政策的新机制、新策略。主要内容包括：排污许可证、排污权交易、公众参与、流域环境管理、环境治理与政策绩效评估、绿色贸易与环境保险、全球气候变化及低碳经济、生态文明与生态现代化等。

(3) 产业生态学。这一研究方向从宏观层面评估、分析和预测我国资源环境形势，挖掘循环经济的战略内涵，创新其实施策略与方法；从中观层面解析产业共生体系的演化规律；从微观层面剖析典型工业行业的物质代谢过程，开发基于物质效率的工业过程优化模型，为重点工业行业节能减排提供技术支撑。主要内容包括：循环经济、产业共生、产业转型与升级、物质流分析与管理、生命周期评价、清洁生产与工业过程优化、生态工业园区/生态城市规划与建设等。

南京大学环境学院环境系统分析研究组的主要成员是本丛书的主要作者。该研究组是一个由教授、副教授、讲师、博士后、访问学者、研究生和本科生等组

成的知识结构合理、学科背景交叉、人员梯队完整、处于快速成长中的科研团队。该研究组以系统论为基本思维方式，以环境科学、环境工程、地理学、经济学、管理学、社会学等多学科的理论和方法为依据，以计算机模拟仿真技术为支撑，探索如何转变人们的价值观和行为方式，提高生产和消费系统资源生产力和生态效率，创造环境管理模式和有效实施环境管理手段的新机制、新技术和新方法。本丛书的出版，是该研究组近年来研究成果的积淀，是集体智慧的结晶，是团队不倦探索所得到的果实。我们真诚希望，通过本丛书，与国内同行、环境管理官员、企业家以及环保 NGO 交流看法和经验，获得更多的宝贵意见。

本丛书的出版得到国内外同人的大力指点和支持，也得到中国高技术研究发展计划(863 计划)、国家科技支撑计划、国家自然科学基金、国家社会科学基金重大项目等经费支撑，在此表示衷心感谢。

毕 军

2009 年 6 月

前言

产业生态学是站在资源短缺和环境约束的角度审视人类生产活动与其依存的资源、环境之间关系的一门新兴交叉学科,研究对象主要集中于企业行为、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产业共生体系,实现人类生产活动的高效性(主要体现在资源生产力和生态效率方面)、稳定性和持续性。从这一点来说,产业生态学以系统论为基础,从物质代谢的视角测度和评估产业系统,旨在从物质生命周期管理的角度探求改善、优化产业系统的途径和策略。

作为一门新兴交叉学科,产业生态学的内容非常广。本书汇集了产业共生理论、物质代谢分析方法、生命周期评价、生态效率、工业过程优化、企业环境行为、生态工业园等产业生态学领域热点问题,共十一章。第一章为绪言,主要回顾人类环境保护战略的演变过程,阐释产业生态学的诞生背景。第二章介绍产业生态学学科体系。第三章介绍产业生态学基本理论——产业共生。第四至六章介绍产业生态学的三种基本分析方法:基于通量的物质流分析(MFA)、基于单一物质的物质流分析(SFA)、生命周期评价。第七章介绍产业共生系统评估方法——生态效率的内涵与方法体系;第八至十章分别从工业过程、企业、生态工业园层面介绍了产业生态学的应用。第十一章介绍 GaBi 4 数据库框架及其应用。产业生态学需要多学科的知识支持,相关学科基础主要包括环境科学、人文地理、产业经济学、系统科学、管理学等。

本书内容丰富,是环境科学与工程专业本科生基础教材,还可供人文地理、区域经济、可持续发展、经济管理、社会学等研究的学者参考。

产业生态学涉及知识面广,处在不断发展之中,对其内容的选编、组织和写作难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

袁增伟 毕 军

2009年5月1日

目 录

总序

前言

第一章 绪言	1
第一节 经济社会发展与环境变迁	1
第二节 人类环境保护历程演变	6
第三节 技术困境	13
第四节 人类生产新模式——产业生态学视角	20
第五节 人类消费新模式——社会生态学视角	21
第二章 产业生态学概述	24
第一节 产业生态学发展历程	24
第二节 产业生态学内涵与范畴	28
第三节 产业生态学理论体系	29
第四节 产业生态学发展趋势	31
第三章 产业共生理论	35
第一节 产业共生的起源	35
第二节 凯隆堡产业共生体系的启示	36
第三节 产业共生的内涵	38
第四节 产业共生网络形成机制	39
第五节 产业共生网络运营成本模型	44
第六节 产业共生网络解析框架	51
第七节 产业共生体系演化路径研究	53
第四章 基于通量的物质流分析(MFA)	56
第一节 物质流分析(MFA)的定义	56
第二节 物质流和物质分类	57

第三节	研究框架与主要指标	63
第四节	分析方法	67
第五节	软件平台	74
第六节	物质流分析案例	75
第五章	基于单一物质的物质流分析(SFA)	80
第一节	SFA 的定义及演变过程	80
第二节	SFA 基本方法体系	82
第三节	SFA 研究方法	85
第四节	主要应用	89
第五节	案例研究	91
第六节	常用软件	103
第六章	生命周期评价	105
第一节	生命周期评价的定义和发展	105
第二节	生命周期评价技术框架	115
第三节	简化生命周期评价	133
第四节	生命周期评价案例——以建筑物为例	136
第七章	生态效率	146
第一节	生态效率的内涵	146
第二节	生态效率环境管理	156
第三节	生态效率的度量	162
第四节	生态效率的应用	168
第五节	案例分析	171
第八章	工业代谢与过程优化	179
第一节	工业代谢起源	179
第二节	工业代谢原理	182
第三节	工业代谢的度量	187
第四节	工业过程代谢分析	189
第五节	过程优化	200
第九章	企业环境行为	217
第一节	企业环境行为的内涵	218
第二节	企业环境战略	220

第三节 企业环境培训	221
第四节 企业环境行为分析	223
第五节 企业环境管理体系	238
第六节 企业环境行为案例	245
第十章 生态工业园	250
第一节 生态工业园的内涵	250
第二节 生态工业园的分类	252
第三节 生态工业园的特征	253
第四节 生态工业园生态系统	254
第五节 生态工业园规划编制的程序和内容	260
第六节 生态工业园规划案例	262
第十一章 GaBi 4 数据库平台	289
第一节 GaBi 4 简介	289
第二节 GaBi 4 的框架	292
第三节 使用 GaBi 4 进行 LCA 的流程	300
第四节 以瓶为例介绍 GaBi 4 的常规使用	303

第一章 绪 言

第一节 经济社会发展与环境变迁

经济增长和技术进步在极大提高人们生活水平、改善人民生活质量的同时,也给人类带来了前所未有的挑战:资源短缺和环境污染。虽然技术进步使人类不断发现新的资源(包括种类和数量)并持续提高资源的利用效率,但仍无法抵消由于人均消费资源量增加而带来的资源消费总量的快速增长,资源总量枯竭和短期开采能力不足尤其是区域性资源分布/开采能力不均所带来的资源供需矛盾日趋加剧;与此同时,资源开发利用所带来的生态破坏和环境污染日益严重,如生物多样性锐减、酸雨、土壤沙化、臭氧层破坏、气候变暖等。资源短缺和环境污染已经成为制约人类可持续发展的瓶颈要素。

如何转变人类现有的发展模式,开发新的资源利用途径,在确保人类资源可持续利用的同时,最大限度减少资源开发及利用过程的环境影响已经成为全球尺度的严峻挑战。正是基于对这一严峻形势的深刻反思,逐渐形成了产业生态学理论和方法体系,本书试图系统梳理国内外产业生态学最新研究成果,勾勒产业生态学理论和方法体系框架,并通过典型案例分析其在解决具体问题时的作用和效应。在此之前,笔者希望与读者一起,从环境变迁的视角客观回顾人类经济社会发展过程和经济-社会-环境困境与矛盾诞生过程(图 1-1),从而追溯前人面对这一困境的反思与努力,正视我们背负的历史。

一、缓慢的积累

人类在 200 万年演化历程中,除了最近几千年外,一直都是通过采集食物和猎取动物相结合的方式获取他们的生存资料。几乎毫无例外,人们结成移动的小群体来生活,采取的是最为温和、最具灵活性,也是对自然生态系统损害最小的生存方式。随着农业的出现和发展,人口的密集带来了文明的兴盛:目前所知的古代文明,几乎都发源于大规模江河流域附近的富足土地上。

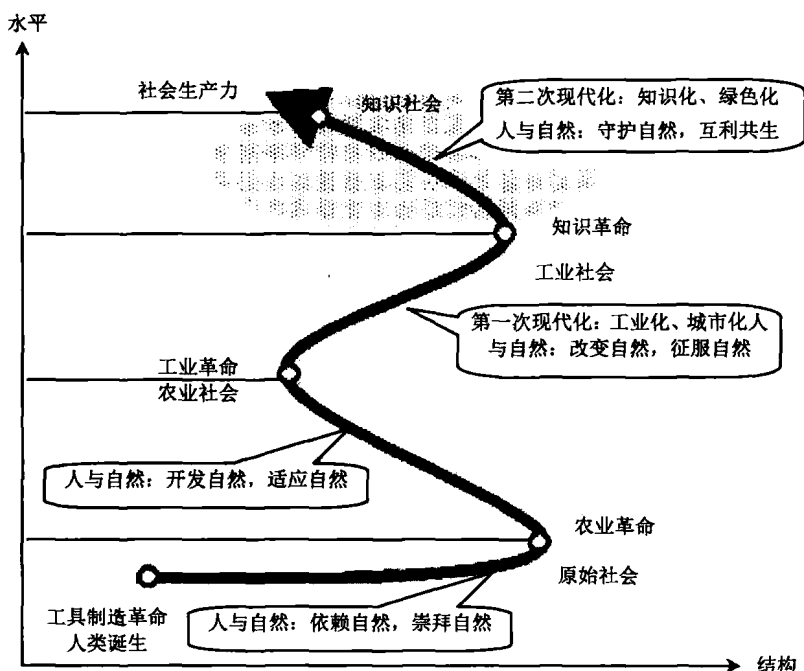


图 1-1 人类发展及与自然的关系演变

资料来源：中国现代化战略研究课题组，中国科学院中国现代化研究中心编，中国现代化报告 2007

——生态现代化研究，北京：北京大学出版社，2007

距今约 7000 年的新石器时代，世界人口增长第一次出现飞跃。这是原始农业（生产型经济）取代采集渔猎经济（依赖型经济）的结果。农业发展与人口增长之间存在微妙的关系：一方面，农业能够保证对密集人口的食物供给和生活需求，开垦森林在提供耕地的同时也满足了木材需求，此时，人类的生活资料来源较以前更为稳定和可靠；另一方面，农业的高强度劳作也将大量人口束缚在了土地上，并不断要求更多的劳动力（人口）投入农田，因此定居的生活方式逐渐取代了四处迁徙的游牧生活，从而促进了人口进一步增长。这一正反馈作用，使得人类社会沿着农业发展的轨迹持续前进，无法回头，也促进了人口规模的快速膨胀，据粗略估计，在过去的 500 余年里，世界人口数量从约 4 亿猛增到 60 多亿。截至 2008 年底，农业支持着超过 66 亿的世界人口（图 1-2）。借用政治经济学中资本主义发展的“原始积累”这一概念，如果说自然进化是人类在生态位上完成的原始积累，那么农业社会则是人类在自然界中完成的原始积累。

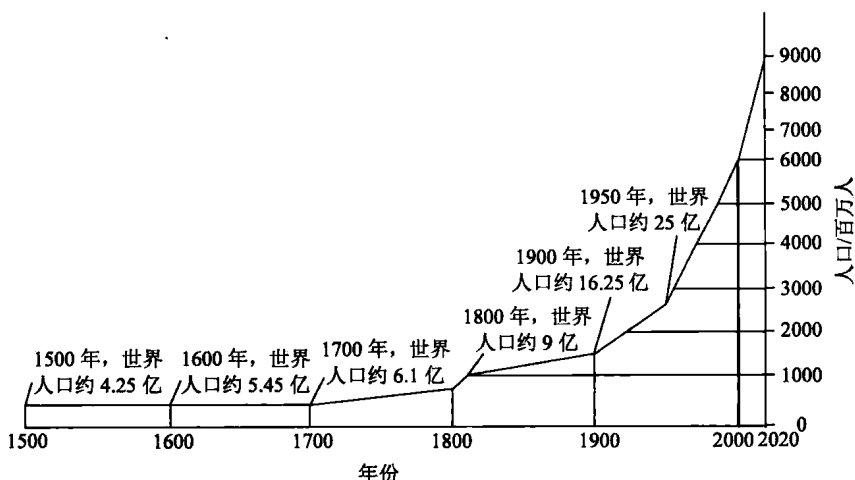


图 1-2 世界人口增长趋势

资料来源：世界银行. 超越经济增长：迎接全球发展的挑战. 2003

在这一积累过程中，人类对环境和资源的消耗是巨大的，虽然就世界范围来说，此时人类对自然资源的消耗尚在自然资源承载能力范围之内，人类对环境的影响也还没有超出生态环境容量，但集约农业、森林砍伐与焚烧等行为已经在局部引起了一些环境问题，并最终影响当地社会的发展(表 1-1)。

表 1-1 农业文明衰落与环境变化

农业 时代 文明 衰落	苏美尔文明的衰落 (公元前 7000~前 1800)	美索不达米亚(今伊拉克的两河流域)不合理的灌溉农业造成土地盐碱化和水涝，进而导致苏美尔农业文明的瓦解
	玛雅文明的衰落 (公元前 2500~公元 900)	中美洲(今墨西哥等)玛雅人采用集约农业，索取过多，水土流失，粮食减少，资源竞争，是文明消亡的原因
	古罗马文明的衰落 (公元前 50~公元 450)	利用北非生产粮食，集约耕作导致荒漠化和沙漠化。国内砍伐森林，环境退化，粮食不足，加速帝国崩溃

资料来源：克莱夫·庞廷. 绿色世界史——环境与伟大文明的衰落. 王毅，张学广译. 上海：上海人民出版社，2002

为了让世人充分了解自然界对人类活动的反馈作用，恩格斯曾在《自然辩证法》中指出：“我们不要过分陶醉于我们对自然界的胜利。对于每一次这样的胜利，自然界都报复了我们。每一次胜利，在第一步都确实取得了我们预期的结果。但在第二步和第三步，却有了完全不同的、出乎预料的影响，常常把第一个结果又取消了。美索不达米亚、小亚细亚以及其他各地的居民，为了想得到耕地，把森林都砍完了，但是他们想不到，这些地方今天竟因此成为荒芜的不毛之地，因为他们使这些地方失去了森林，也失去了积聚和贮存水分的中心。阿尔卑斯山的

意大利人，在山南坡砍光了原本被十分细心保护的松林，他们没有预料到，这样一来，他们把他们区域里的高山牲畜业基础给摧毁了；他们更没有预料到，他们这样做，竟使山泉在一年中的大部分时间内枯竭了，而在雨季又使更加凶猛的洪水倾泻到平原上。”

二、工业跃进及其代价

自 18 世纪中叶第一次工业革命以来，工业活动极大地推动了世界经济的发展，为人类创造了巨大物质财富，满足了人类不断增长的物质需求，为人类发展和社会进步奠定了坚实的物质基础。然而，工业活动所依赖的“资源开采—工业生产—废物排放”的“全开放型”线性工业发展模式，是在工业发展初期资源和能源都相对充足、人类环境保护意识近乎零的条件下形成的，其发展跃进的规模之大、速度之快史无前例，快得使人类社会没有来得及考虑发展的代价，工业经济就已经席卷全球，并且其所造成的环境污染问题就已经遮天蔽日。以工业经济为例，我们一度在技术经济的大道上健步如飞，未曾感受到身后背负着的资源环境包袱日益沉重，直到自然被这一重负压垮。

近代工业活动的资源能源消耗巨大且利用效率不高。世界煤炭产出从 19 世纪初期的 1500 万 t 增加到末期的 7 亿 t，虽然近代煤炭产量增长幅度有所放慢，但 1990 年仍达 52 亿 t，21 世纪初仍以 2.5% 的年增长率增加^①；世界石油消费从 1890 年的约 1000 万 t/a 增加到 20 世纪 70 年代的 25 亿 t/a。投入工业生产的金属、非金属矿物更难以计数。另一方面，作为一个自然生态系统的地球，其自净能力是有限的，随着人类废弃物排放量的不断增加，线性经济发展模式的弊端很快就显现出来：世界范围内环境污染事故层出不穷，地表垃圾堆积如山，水、土壤、大气环境遭到严重破坏，加上噪声、城市光污染、放射性污染等严重威胁着人类生存；大量的污染物排放和环境破坏给人类造成了巨大的经济损失。

毋庸置疑，由于技术低下、管理不善、设备落后等原因造成的资源能源浪费也是造成资源短缺形势的重要原因，以能源为例，在过去的两个世纪，人们在使用能源时毫无节制，仿佛地球上的能源是取之不尽、用之不竭的。工业化世界鼓励消费而不是限制消费，廉价的能源意味着，消费的大量能源通过各种低效形式连同失效的措施而浪费掉。在 19 世纪以前，燃料的利用率很低。大多数煤在露天火炉里燃烧，超过 90% 的热量通过烟筒排放到大气中被浪费掉；用炉子烧木头时能源利用效率高一些，只浪费掉约 2/3 的热量；早期蒸汽机的能源利用效益也很

① The future of coal. MIT Study. http://web.mit.edu/coal/the_future_of_coal.pdf.2007

低——大约 98% 的能量被浪费掉。到 1910 年，涡轮机的采用持续提高了能源使用效率，以致能源利用率达到大约 20%，到 20 世纪 50 年代又在此基础上增长了 1 倍。20 世纪能量的最大浪费之一发生于原油输送中天然气的损失。几十年来，大量的天然气被浪费掉。天然气被用做将石油驱到地表的手段，然后被白白烧掉。据估计，1913 年时一个俄克拉何马油田所浪费的天然气比所开采的石油还多。20 世纪 20 年代后期至 30 年代前期，美国矿产局估计，美国每年约浪费掉 $12.5 \text{ 亿 ft}^{3\text{①}}$ 天然气——在整个 10 年中，相当于 2.5 亿 t 煤（约占世界年消耗的 1/4）；50 年代，世界油田生产的天然气大约一半被井口的燃烧浪费掉。

三、全球平衡的丧失

当我们意识到必须开始放慢工业节奏的时候，当环境保护的思想开始成长壮大的时候，当末端治理拆东补西、疲于奔命的时候，越来越多的环境影响、资源约束和生态破坏问题才真正被注意到，尤其是全球范围内的一系列环境问题为人类敲响了警钟。

世界大系统的平衡丧失首先体现在人类社会内部。首先，发达国家在发展历程中，以战争、经济贸易等多种手段，从发展中国家掠夺了木材、矿产、能源等大量资源；其次，许多全球性环境污染和环境问题的主要成因是发达国家生产、消费行为对环境系统的影响，但发展中国家同样承受了这一影响；最后，当今世界普遍存在高污染、高能耗产业从发达国家向发展中国家转移的现象，导致全球价值链的失衡，环境影响高的产业、技术难以被淘汰出全球市场。

人类目前的主宰地位导致了其他生物种群的不平等，盲目开发利用自然资源以及随之而来的自然生态系统的改变和破坏，是生物多样性锐减的罪魁祸首。近 2000 年来，地球上已有 106 种哺乳动物和 127 种鸟类灭绝；濒临灭绝的哺乳动物有 406 种，鸟类有 593 种，爬行动物有 209 种，鱼类有 242 种，其他低等动物更不计其数。中国的大熊猫和西伯利亚虎、亚洲黑熊、印度尼西亚马鲁克白鸚、亚洲猩猩、非洲黑犀牛、北美石龟、北美玳瑁等均濒临灭绝。1950~1992 年，非洲的象牙海岸大象从 10 万头锐减到 1500 头。全球的热带雨林，正以 $20 \text{ hm}^2/\text{min}$ 的速率减少，照此下去，不出 100 年，全球的热带雨林将荡然无存，大量珍稀生物也将随热带雨林的消失而灭绝。据统计，目前全世界平均每小时有两个物种灭绝。

在这样一个失衡的世界系统中，人类行为所直接、间接导致的各类环境问题层出不穷：酸雨、臭氧层破坏、温室效应……我们可以苦涩地预见到，由于自然

① $1 \text{ ft}^3 = 2.831685 \times 10^{-2} \text{ m}^3$

系统的复杂性，只要人类对自然界持续施加各种影响，那么其后果是无法被精确估计、测算的，更可能是灾难性的。

第二节 人类环境保护历程演变

回顾人类环境保护历程，按其环保手段的差异，可以大致将其分为以下几个阶段：①环保思想萌芽阶段，该阶段主要是一系列环境污染事件催生了人类保护环境意识，该阶段主要以呼吁公众意识为主要手段；②末端治理阶段，该阶段主要是针对工业企业的污染排放问题，针对性地开发一些处理技术和设备；③清洁生产阶段，主要以具体工艺过程减污为主，即通过工艺技术改造，减少污染排放；④循环经济阶段，该阶段以生产系统整体优化和“3R 原则”为典型特征。

一、环保思想萌芽阶段

工业革命所带来的环境问题在 20 世纪 30 年代开始逐步凸显，到 50、60 年代日趋严峻，并迫使人类开始关注环境保护，进而形成人类环境保护思想的萌芽。30 年代，比利时马斯河谷地带分布着三个钢铁厂、四个玻璃厂、三个炼锌厂和炼焦、硫酸、化肥等工厂，1930 年 12 月初，在两岸耸立 90m 高山的河谷地区，出现了大气逆温层，浓雾覆盖河谷，工厂排到大气中的污染物被封闭在逆温层下，不易扩散，浓度急剧增加，造成世界著名的八大环境污染公害事件之一——马斯河谷烟雾事件。事故发生后一周内造成 60 人死亡，几千人受害发病，心脏病、肺病患者的死亡率增高，大量家畜死亡，推断当时大气二氧化硫质量浓度为 $25\sim 100\text{mg/m}^3$ ($(9.6\sim 38.4)\times 10^{-6}$)。该事件第一次对人类敲响环境保护的警钟。

之后的 1948 年，美国又发生了多诺拉烟雾事件。多诺拉是美国宾夕法尼亚州匹兹堡市南边的一个工业小镇，在一个两边分布着高约 120m 山丘的马蹄形河湾内侧，形成一个河谷工业带，有大型炼钢厂、硫酸厂和炼锌厂等企业。1948 年 10 月 27 日，工厂排放的烟雾蓄积深谷，扩散不开，地面处于空气滞留状态，烟雾越来越稠厚，几乎凝结成一块，能见度极低。烟雾持续达 4 天之久。在小镇 14000 多人中，近 6000 人因空气污染而患病，其中 20 人死亡，患者人数约占 43%。

进入 20 世纪 50 年代以后，环境污染事件日益增多，典型的有 1952 年英国伦敦烟雾事件、1953 年日本水俣事件、1955 年美国洛杉矶光化学烟雾事件和日本富山事件、四日事件等，20 世纪 50 年代世界典型环境污染事件见表 1-2。

表 1-2 20 世纪 50 年代世界典型环境污染事件

事件	地点	年份	原因	后果
伦敦烟雾事件	英国伦敦	1952	一个大型移动性高气压逼近伦敦,致使伦敦出现无风状态和 60~150m 低空逆温层,燃煤烟尘被封盖滞留在低空逆温层下。几天过后,全城沉浸在浓雾中,大气中的烟尘含量超过卫生标准的 10 倍,二氧化硫的平均浓度则超过 20 多倍	几千市民感到胸口窒闷,并有咳嗽、喉痛、呕吐等症状。12 月 5~8 日四天中,伦敦死亡人数达 4000 人,患呼吸道疾病和心脏疾病的人也是平时的 3~4 倍。1956 年、1957 年又连续发生两起类似中毒事件
洛杉矶光化学烟雾事件	美国洛杉矶	1955	洛杉矶 350 多万辆汽车每天将超过 1000t 烃类、30t 氮氧化合物和 4200t 一氧化碳排入大气,加之市区空气水平流动缓慢,在紫外线照射下,发生光化学反应,生成一种浅蓝色光化学烟雾	人体健康严重受损,当地近 400 名 65 岁以上老人死亡。橡胶制品老化,汽车和飞机不能正常运行。郊区的玉米、蜜柑、烟草、葡萄等作物与林木受到不同程度的危害
日本水俣病事件	日本熊本县	1955	该地区某化肥厂在氮肥生产中,采用氯化汞和硫酸汞作催化剂,含甲基汞的毒水排入水体,在食物链中富集,最终致使人类中毒或死亡	日本熊本县水俣湾地区多人出现表情呆痴、全身麻木、口齿不清、步态不稳,进而耳聋失明,最后精神失常、全身弯曲、高叫而死。还出现“自杀猫”、“自杀狗”等怪现象。截至 1979 年 1 月受害人数达 1004 人,死亡 206 人
日本富山“骨痛病”事件	日本富山	1955	该事件原因直到 1961 年才查明。在神通川上游,日本三井金属矿业公司建造了一座炼锌厂。建厂后,大量工业废水不断排入神通川,这里的居民食用了被废水中的镉污染的稻米(镉米),久而久之体内积累了大量的镉,引起镉中毒而患“骨痛病”	当地居民陆续感染神秘疾病,一开始是腰、手、脚等关节疼,持续几年后,身体各部位神经痛和全身骨痛,行动不便,呼吸困难,最后骨骼软化萎缩,骨折病人饮食不进,在衰弱疼痛中死去或自杀。当地医院解剖的一具尸体竟有 73 处骨折,即在人体总数 206 块骨骼中平均不到 3 块就发生一处骨折
日本四日事件	日本四日	1955	该市是一个以“石油联合企业”为主的城市,石油冶炼和工业燃油产生的废气每年将总量达 13 万 t 的粉尘和二氧化硫排到大气中,使这个城市终年烟雾弥漫	该市居民呼吸道疾病骤增,尤其是哮喘病的发病率大大提高,居民患支气管炎、支气管哮喘、肺气肿及肺癌等呼吸道疾病

20 世纪 50 年代的一系列环境污染事件迫使人类开始思考工业发展的环境代价。1962 年,《寂静的春天》悄然出版,随后带来的重大影响使其被称为“现代环境运动的肇始”。作者蕾切尔·卡逊是一位研究鱼类和野生资源的海洋生物学家,她的敏锐视角着重于杀虫剂、化学品以及废物排放等近代工业文明产物的环境影响,并提供了大量研究证据。“化学品和所有未经深思就大量排放入自然界的人造物质,将对人和自然带来不可估量的损害。”这一前瞻性的思考在当时受到了高增长、高消费主流社会的强烈抨击,同样遭到相信“当代化学家、生物学家等科学家坚信人类正稳稳地控制着大自然”的科学界的否定。然而,《寂静的春天》的影响漫长而深远,让美国乃至世界开始正视那些人们从前未曾注意或刻意忽视