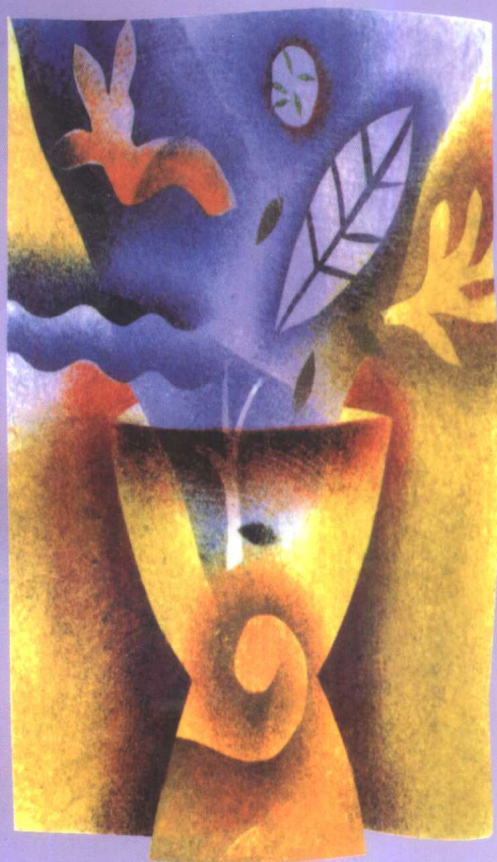
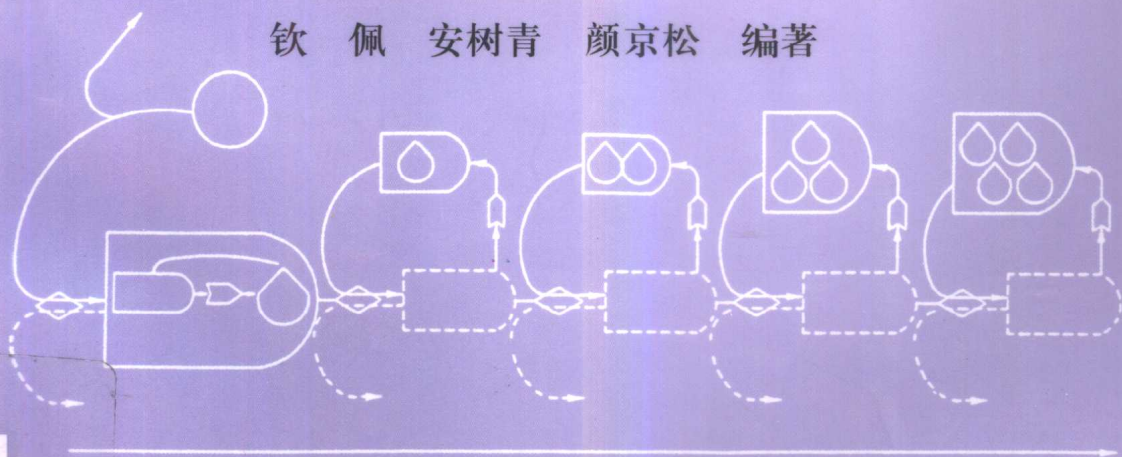




生态工程学

钦 佩 安树青 颜京松 编著



南京大学出版社

南京大学教材出版资助金项目

生态工程学

Science of Ecological Engineering

钦 佩 安树青 颜京松 编著

南京大学出版社

内 容 提 要

本书是第一本生态工程学教科书。本书的主要内容为:前四章是有关生态工程学的理论部分,包括生态工程的定义、由来、发展、原理、模型和设计。后五章是有关生态工程学的应用部分,包括在生态恢复、污染治理、复合农业、城镇发展以及海滩开发与管理等方面的生态工程技术及其应用实例。其中理论部分有相应实例的剖析,应用部分有相关理论的阐述,这有利于读者更好地了解这门新学科,更好地消化有关内容。本书可作为高等学校生态、环科、农学、林学等专业的本专科生和研究生的教科书,也可作为有关专业科技人员的科研和科技开发参考用书。

生态工程学

钦 佩 安树青 颜京松 编著

*

南京大学出版社出版

(南京大学校内 邮编 210093)

江苏省新华书店发行 江苏测绘院印刷厂印刷

*

开本 787×1092 1/16 印张 14.125 字数 353 千

1998 年 7 月第 1 版 1998 年 7 月第 1 次印刷

印数 1—1000

ISBN7-305-03163-1/R·128

定价 17.50 元

(南大版图书若有印、装错误可向承印厂退换)

序

世纪之交,中国正在迅速城市化和工业化,经济总量快速增长,城市基础设施大规模建设,居民生活质量明显上升。这一快速的工业化、城镇化进程主要是在东部沿海及内陆部分人口密集地区展开的。强烈的现代化需求、密集的人类活动、快速的结构性增长和高物耗、高污染型的产业发展对城镇及区域生态环境的胁迫效应以正反馈的形式发展。水体、大气、土壤和生境的严重污染,农田、森林、草原、湿地的生态破坏,环境事故、生态灾难、生态难民及自然灾害频率的不断增加,生物多样性、水源涵养能力、生态服务功能及生态系统健康的持续下降给人民身心健康、国家环境安全和经济的持续发展造成了严重的威胁。

为此,国家不得不明令取缔、关闭和停产 15 类污染严重的乡镇企业。这些企业所蒙受的昂贵的经济损失宣告了传统的“先污染、后治理、先规模、后效益”的工业化模式在 90 年代中国的不可行性。

为了改善城乡生态环境,一些大中城镇投巨资兴建了一批污水、垃圾和烟尘治理工程,一些老大难的环境污染企业也被责令限期治理其环境问题。这种投资多、能耗大、运营成本高、且在有长期积累的后工业化国家所实施的末端治理工程,虽可取得明显的局部环境效益,但对长期亏损的国营企业,粗放型乡镇企业和举步维艰的各级城市基础设施建设来说,却是一个沉重的经济包袱。西方发达国家经过两个多世纪的产业革命和社会发展,以掠夺殖民地生态资源为代价,实现了农业社会向工业社会,乡村社会向城市社会的过渡,中国要在 50 年时间内达到中等发达国家的水平,我们既没有全球广阔的殖民地生态资源,也没有两个多世纪的时间跨度。早期工业化国家的环境污染和殖民地国家生态破坏的环境代价是我们的子孙后代所难以承受的。为顺利实现第三步战略转移,中国的科技工作者必须寻求一条新的产业革命和生态建设之路,从认识论、方法论和技术手段三方面去探索实现环境与经济协调发展的中国现代化模式。

90 年代兴起的产业生态学正是在这种形势下脱颖而出的一门研究社会生产活动中自然资源从源、流到汇的全代谢过程,组织管理体系以及生产、消费、调控行为的动力学机制,控制论方法及其与生命支持系统相互关系的系统科学,它被列入美国 21 世纪环境科学研究的优先领域。其核心是推进产业生态工程。

生态工程是近年来异军突起的一门着眼于生态系统持续发展能力的整合工程和技术,它根据整体、协调、循环、自生的生态控制论原理去系统设计、规划和调控人工生态系统的结构要素、工艺流程、信息反馈关系及控制机构,在系统范围内获取高的经济和生态效益。不同于传统末端治理的环境工程技术和单一部门内污染物最小化的清洁生产技术,生态工程强调资源的综合利用、技术的系统组合、学科的边缘交叉和产业的横向结合,是中国传统文化与西方现代技术有机结合的产物。

从经典物理学发展起来的自然科学及其工程技术在推动产业革命、促进现代化进程方面立下了不朽功勋。但正是其还原论的学科分类将学科之间、部门之间、企业之间以及人与自然间的联系割裂开来,使现代产业形成链状而非网状结构、开环而非闭环代谢,造成了当代严峻的环境污染和生态破坏问题。传统环境工程脱离生态系统的整体代谢过程,通过高投入、高能

耗方式对废弃物进行末端治理。而 80 年代以来兴起的清洁生产技术,从改革内部工艺着手,使废弃物减量化和环境影响最小化,但对于部门外的资源、环境及其他部门的共生关系却涉及甚少。

生态工程的概念是著名生态工程学家 H. T. Odum 及马世骏教授于 60 年代及 70 年代提出来的。但各自的侧重点却不同。西方生态工程理论强调自然生态恢复,强调环境效益和自然调控。中国生态工程则强调人工生态建设,追求经济和生态效益的统一和人的主动改造与建设,被认为是发展中国家可持续发展的方法论基础。

城乡环境污染及其所造成的生态破坏是工业革命和殖民主义的副产品。随着大工业的发展,专业化分工越来越细,经济效益成为企业生产的唯一目标。企业从遍布全球的自然生态系统中无偿或低偿地索取资源,并将生产和消费过程中未被有效利用的大量副产品以污染物或废弃物的形式排出厂外,形成环境问题。其实质是资源代谢在时间、空间尺度上的阻滞或耗竭,系统耦合在结构、功能关系上的错位和失谐,社会行为在经济和生态关系上的冲突和失调。人们只看到产业的经济过程,而忽视其生态过程;只重视产品的物理功能,而忽视其生态功能;只看到污染物质的环境负价值,而忽视其资源的正价值。城市环境问题的根源是产业和产品结构的不合理,科技支撑力的不适应,条块分割的管理体制,以产量产值为主的政绩考核指标和目标单一的短期行为,以及生态意识低下、生态教育落后的国民素质。

我国国营大中型企业基本上是 50 年代以来为适应计划经济的需求,在前苏联体制影响下建立起来的。其原有产品结构单一,技术装备落后,管理体制僵化,企业活力低下,已不能适应当前市场经济发展的需求,离国际 ISO14000 标准相差甚远,在投资企业的环境整治方面显得力不从心。

80 年代以来蓬勃兴起的、目前已与国营企业二分天下的乡镇企业机制灵活,市场竞争力强;但技术装备落后,物耗能耗大,环境污染严重,对区域生态破坏显著;急需根据当地生态条件调整结构,改革工艺,引进技术,更新换代,促进企业的规模化、现代化和生态化。

近 30 年来,我国环境科学和生态科学队伍逐渐壮大,目前各级部门从事生态环境研究、管理、监测与教学的科技人员达数十万,但其学科发展远不适应于国家生态建设的需求。多数生态学家埋头于纯自然生态研究,环境学家则热衷于末端治理;而从事国民经济建设所真正急需的生态建设的认识论、方法论和技术手段研究的专业人员极少。

与典型的高新技术相比,生态工程通常是常规、适用技术的组装,其投资少,周期短,技术要求和人员素质不必过多追求高、精、尖。其实质是用生态经济手段解决环境问题,从系统整合中获取资源效益。生态工程研究与开发对于我国乡镇企业的更新换代,国营大中型企业的改造转轨无疑是一个重大的机会,也将为发展中国家提供一条依靠本地资源,促进城乡环境与经济持续发展的新路。

70 年代以来,我国生态工程理论和实践研究取得长足的发展,成为中国生态学领先国际前沿的少数几个领域之一。但在技术手段、装备水平、推广规模、科研力度及社会认可方面却远远滞后于国家“可持续发展”战略的要求。特别是迄今为止,还没有一本系统的生态工程领域的教学参考书,生态工程专业技术人员更是寥寥无几。钦佩、安树青、颜京松编著的“生态工程学”一书正是顺应城乡生态建设对可持续发展技术的迫切需求,填补了我国这一领域教科书的空白,为大专院校师生提供了一本前沿领域的教学用书。作者均是多年从事生态工程教学、研究的第一线工作者,具有丰富的理论积累和实践经验。

全书共分九章。第一章系统综述了国内外生态技术和生态工程的发展过程及应用前景。第二章分别从生物学和工程学的角度阐述了生态工程的理论基础。城乡社会经济建设面临的是一个以人为中心的社会-经济-自然复合生态系统,其核心是人,动力是人,破坏力也是人。运用生态控制论原理去促进资源的综合利用,环境的综合整治及人的综合发展是生态工程的核心。生态学和工程学,或整体论科学与还原技术的有机结合,是生态工程建设的关键。生态工程的目的就是以复合生态系统理论和产业生态学方法为基础,促进硬技术的软组装和软科学的硬着陆,以生态经济效益解决环境问题;用生态建设促进产业发展,实现发展问题的科学化、系统化与生态化。

生态工程的方法论基础是系统工程。本书第三、四章从方法论的层面阐述了生态工程的设计和建模方法。新一轮的产业革命的先锋是生态科学的革命,著名生态学家 E. P. Odum 1997 年最新出版的《生态学:科学和社会的桥梁》一书称生态学是一门独立于生物学,甚至自然科学之外的有关人类社会持续发展的系统科学;一门天人关系的系统哲学、改造自然的系统工程学和欣赏自然的系统美学,面对还原论与整体论,物理学与生物学,经济学与环境学,工程学与生物学的矛盾,生态科学的方法论正在面临一场新的革命;从结构的量化走向关系的序化;从数学优化走向生态进化;从人工智能走向生态智能。人们通过测度城乡生态系统的属性、过程、结构与功能去辨识系统的时(届际、代际、世际)、空(地域、流域、区域)、量(各种物质、能量的代谢过程)、构(产业、体制、景观)及序(竞争、共生与自生序)的生态持续能力。完成这场科学与社会关系领域的革命,需要进行科研体制、发展战略和资源分配的大力度改革与重组。

检验一门新兴学科是否具有生命力的唯一标准是实践,本书第五章至第九章分别从生态恢复生态工程、环境治理生态工程、农林复合生态工程、城镇发展生态工程及海滩生态工程等方面介绍了我国城乡各类生态工程的评价、规划、设计、建设与管理方法。作者通过大量的实例揭示了生态工程建设在城乡可持续发展中的广泛应用前景,认为有着几千年“天人合一”人类优良生态传统的中华民族必须,也一定能够走一条非常规的现代化道路,开展一场中国式的产业革命、科技革命和体制改革,实现有中国特色的社会主义市场经济条件下的可持续发展。在这几章中,作者还结合实例,融汇了生态工程学有关理论、原理,并介绍了多项重要的生态工程技术,便于读者更好地学习、理解、掌握与运用。

当前,“可持续发展”已成为国内外学术界、政府部门及各行业流行的口号,以及论文、会议、报刊中出现频率很高的术语。可持续发展的实现需要扎扎实实的行动和行之有效的方法。“生态工程学”一书的出版向全社会揭示了中国式社会主义市场经济条件下可持续发展的技术路线和科学方法。虽然由于时间和环境等原因,本书所总结的生态工程原理、方法和实例还有待进一步的充实、完善和提高,但本书的出版无疑将有利于推动中国生态工程的教学、研究和能力建设,为促进城乡可持续发展事业奠定一块基石。

王如松

1997 年 12 月 20 日

前 言

生态工程学现已发展成为当今生态学科的前沿领域。前美国生态学会主席 J. L. Meyer 在 1996 年美国生态学会年会的演讲中说,生态工程学、生态经济学、生态设计、产业生态学和环境伦理学是生态学的未来所在,她赞扬在这些领域辛勤工作的人们“正在创造一个可持续的社会”,她明确指出:“生态工程学家解决河岸侵蚀问题的办法不是用混凝土,而是重建其原有的地貌和植被;这种研究不仅是一种试验,更代表了生态学原理的创造性应用。”鉴于生态工程学科的重要地位和飞速发展,国家教委在 1995 年的《高校教学大纲》中明确规定将“生态工程学”列入生态专业本科生的专业课程。然而,迄今为止尚未有一本“生态工程学”教科书问世。因而,紧迫感和责任心催促着我们动手编著这本《生态工程学》。我们开章明义交代出书的宗旨,就是希望这第一本生态工程学教科书能尽快投入到我国生态工程的教育和科研中去,为推动我国生态工程学的学科发展发挥其应有的作用。

本书的结构和主要内容是这样安排的:前四章是有关生态工程学的理论部分,包括生态工程的定义、由来、发展、原理、模型和设计。后五章是有关生态工程学的应用部分,包括在生态恢复、污染治理、复合农业、城镇发展以及海滩开发与管理等主要方面的生态工程技术及其有关应用。当然,理论部分也会有实例的剖析,应用部分也会有理论的阐述,这是为了帮助读者更好地了解这门新学科,更好地消化有关内容。

为了将最新的知识奉献给读者,我们尽量将国内外最新的生态工程技术及有代表性的研究应用辑选至书中,在此向本书引用的有关资料 and 研究的作者顺表谢意。由于作者水平有限,再加上编著时间仓促,不免有许多疏漏之处;在此,谨向广大读者和同仁深表歉意,敬请及时与我们联系,不吝指正为感。

本书的第一、二章由颜京松、安树青执笔,第三、四章由安树青执笔,第六章由颜京松、钦佩执笔,第五、七、八、九章由钦佩执笔。全书由钦佩、安树青统一编撰,定稿。

在本书的编写过程中,研究生张晟途、朱学雷、吕文良、杨晓梅、张久海、陈兴龙、李国旗、谈健康和万树文等同学帮助打字、绘图和校对,对他们的辛劳深表谢意。

作者

1997 年 12 月于南京大学

目 录

序	(1)
前言	(1)
第一章 概论	(1)
第一节 生态工程和生态技术	(1)
第二节 生态工程的产生背景	(3)
第三节 生态工程研究进展	(10)
第二章 生态工程学原理	(14)
第一节 生态工程学的核心原理	(14)
第二节 生态工程学的生物学原理	(23)
第三节 生态工程学的工程学原理	(28)
第三章 生态工程模型	(30)
第一节 生态工程模型的类型	(30)
第二节 生态工程的能量系统模型	(35)
第三节 生态工程模型的构建步骤	(51)
第四章 生态工程设计	(60)
第一节 生态工程设计原则	(61)
第二节 生态工程设计路线	(66)
第三节 生态工程设计示范	(72)
第五章 生态恢复生态工程	(87)
第一节 生态恢复的研究概述	(87)
第二节 湿地的生态恢复	(89)
第三节 矿区废弃地的生态恢复	(94)
第四节 沙地、山地的生态恢复	(100)
附 能值分析方法	(106)
第六章 环保和污染物处理利用生态工程	(111)
第一节 环境保护和可持续发展	(111)
第二节 建立无(少)废工艺系统	(115)
第三节 污水处理和资源化生态工程	(120)
第四节 分层多级综合利用废物的生态工程	(127)

第七章 农林牧复合生态工程	(131)
第一节 农林牧复合生态工程概述	(131)
第二节 农业可持续发展指标体系建立的研究	(134)
第三节 复合养鱼系统生态工程	(140)
第四节 林农综合经营生态工程	(146)
第五节 农业产业化经营与实用农业生态技术	(152)
第八章 城镇发展生态工程	(156)
第一节 城镇生态系统的主要特征及质量调控	(156)
第二节 中国城镇生态环境基本特征	(162)
第三节 天津城市发展生态对策的研究	(167)
第四节 功能区建设模式——江苏扬中生态岛建设	(172)
第五节 “全球 500 佳”——浙江夏履生态镇建设	(176)
附 地理信息系统技术	(180)
第九章 海滩生态工程	(184)
第一节 海岸与海岸带管理	(184)
第二节 海滩生态工程概述	(189)
第三节 米草生态工程	(192)
第四节 海滨盐土农业生态工程	(202)
附 海涂咸水灌溉农作区的构建及其相关农业技术的研究与应用	(205)
主要参考文献	(208)

第一章 概 论

早期的生态学只是一种观点,通过近一个世纪的努力,我们为复杂的自然现象建立生态学概念、方法和理论。即便如此,生态学也仅被为数不多的从事学术和应用研究的生物学家以及牧场、林业、渔业和狩猎区的管理人员所熟悉。时至今日,生态学已从朦胧走向光明。自本世纪60年代以来,人口危机、能源危机、粮食危机、资源危机,特别是生态环境危机已引起广大公众和政府的关注,生态学被视为解决这些危机的科学基础。因此,从那时起,生态学面临着两个发展方向,即从复杂的自然环境关系中逐步完善和发展生态学理论和方法,同时根据其理论和原则,对许多实际问题提供专门指导,解决现实和未来的生态环境危机。在此情况下,应用生态学应运而生。

近10年来,生态工程学发展为应用生态学的热点分支之一。它是一门新兴的多学科交叉渗透形成的边缘学科和综合工程学,它以复杂的社会-经济-自然复合生态系统为对象,应用生态系统中物种共生,物质再生循环,以及结构与功能协调等原则,结合系统工程最优化方法,以整体调控为手段,以人与自然协调关系为基础,高效和谐为方向,时空结合为主线,为人类社会及其自然环境双双受益和资源环境可持续发展而设计的具有物质多层分级利用,良性循环的生产工艺体系。以期同步取得生态环境效益、经济效益和社会效益。生态工程是一门实用技术,它已成功地用于废污水资源化处理、湖泊富营养化控制、热带森林管理、盐场管理、水产养殖、土地改良、废弃地开发和资源再生等方面,取得了显著的效益。

本章将分三节分别介绍生态工程技术及其与环境工程、生物工程、高新技术和清洁技术的区别;介绍生态工程产生的背景、途径和不同途径的特征;以及生态工程在中国和国外的发展和应用进展情况。

第一节 生态工程和生态技术

一、生态工程和生态技术

我国学者马世骏早在1954年曾提出生态工程一词,而公认的生态工程思想和生态工程(Ecological engineering, ecoengineering)名词仅在30多年前才提出,当时尚未成为一门学科,因为作为一门学科要有其特定研究对象、理论、方法。美国H. T. Odum首先提出了生态工程这一名词,并定义为“为了控制生态系统,人类应用来自自然的能源作为辅助能对环境的控制”,“人类利用少量的辅助能对环境进行管理,来控制以自然资源为基础的生态系统”,“管理自然就是生态工程,它是对传统工程的一个补充,是自然生态系统的侧面”(Odum 1962, 1963, 1971)。80年代,欧洲的Uhlmann(1983)、Straskraba(1984, 1985)与Gnauck(1985)提出生态工艺技术,将它作为生态工程的同义词,并定义为“在环境管理方面,根据对生态学的深入了解,花最小代价的措施,对环境的损害又是最小的一些技术”或“基于生态学知识,利用技术手段管理生态系统,以减少管理费用,并减轻管理活动对环境的干扰”。我国著名生态学家

马世骏(1984)为生态工程下的定义为:“生态工程是应用生态系统中物种共生与物质循环再生原理,结构与功能协调原则,结合系统分析的最优化方法,设计的促进分层多级利用物质的生产工艺系统。生态工程的目标就是在促进自然界良性循环的前提下,充分发挥资源的生产潜力,防治环境污染,达到经济效益与生态效益同步发展。它可以是纵向的层次结构,也可以发展为几个纵向工艺链索横向联系而成的网状工程系统。”熊文愈(1986)认为:“生态工程即生态系统工程,是系统工程和生态系统的结合,即利用分析、调整、决策、规划、模拟、预测、设计实施、管理和评价等系统工程技术,对生态系统进行设计和管理的技术。”美国 Mitsch (1988)以及他与丹麦 Jorgensen (1989)联合将生态工程定义为:“为了人类社会及其自然环境二者的利益而对人类社会及其自然环境进行设计”,“它提供了保护自然环境,同时又解决难以处理的环境污染问题的途径”,“这种设计包括应用定量方法和基础学科成就的途径”。后来又补充道“它是自我设计生态系统而用原始工具的技术。其成分主要是世界上所有的生物种类”(Mitsch 1991)。1993年,在为美国国会撰写的文件中,他又修改为“为了人类社会及其自然环境的利益,而对人类社会及其自然环境加以综合的且能持续的生态系统设计。它包括开发、设计、建立和维持新的生态系统,以期达到诸如污水处理(水质改善)、地面矿渣及废弃物的回收、海岸带保护等,同时还包括生态恢复、生态更新、生物控制等目的”(Mitsch 1993)。欧美学者认为:生态工程就是生态技术。我国学者坚持生态技术仅仅是生态工程的一个环节,不能代表生态工程这一多技术系统。

1989年由中、美、丹、日等国生态学家合著的《Ecological engineering: an introduction to ecotechnology》一书在美国正式出版,较系统地阐述了生态工程研究对象、理论方法及一些案例,自此,生态工程学才成为一门学科。故其历史很短,是新生的学科。新生的事物往往是具有强的生命力和巨大的发展潜力,但是新生的事物往往有不够完善与成熟的一面。因此从事这门学科的研究与应用,一方面有广阔的天地可以大有作为,另一方面由于它目前还不够完善,就需要不断地创新和探索,来促使这门学科日臻完善。

二、生态工程、环境工程和生物工程

1. 生态工程与环境工程的比较

环境工程这门学科是60年代建立起来的。而在此之前几十年曾被称为“卫生工程”。环境工程的目标很明确,就是利用一系列科学原理,去净化或防治环境污染。环境工程已有一系列有价值的环境技术,如“曝气池法”、“氧化塘法”、“砂滤法”、“活性污泥法”等等。而生态工程与其最大区别在于:生态工程考虑利用生态系统的自我设计特点,是有利于人类和自然两者的设计;生态工程的“工具箱”包括全世界能提供的所有生态系统、生物群落及物种。现今,我们正面临自然资源日趋匮乏、人口不断增长以及环境连年恶化等世界性难题。生态学家和环境学家们面临着严峻的挑战。约20年前,曾有人为完全解决环境污染问题提出“零排放”,认为依靠环境技术是可以奏效的。事实上,这是不可能的。例如,我们在提供一种环境技术选择时,常常将污染物从一种介质(如空气)转移到另一种(如水)中去。我们必须寻找另外的办法,以减少污染物的转移,同时保护我们的自然生态系统和非再生性资源。生态技术和生态工程提供了这样的思路,即利用自然生态系统无废弃物和物质循环等特点来解决污染问题。同时,生态工程利用太阳能为基本能源,并保持或增加生态系统内部的物种多样性,而环境工程以化石能为基础能源,往往会改变或减少生态系统的生物多样性,如表1-1所示。与环境工程 and 传统工程相比,生

态工程是一类低消耗、多效益、可持续的工程体系。

表 1-1 生态工程与环境工程、生物工程和传统工程的比较

工程类型	传统工程	环境工程	生态工程	生物工程
基本单元	自然系统、社会系统	自然系统	生态系统	细胞
基本原料	工程学	环境科学	生态学	遗传学、细胞生物学
基本能源	化石能	化石能	太阳能	化石能
基本费用	大量	大量	合理	大量
设计特点	人为	人为	人类辅助下的自组织	人为
控制结构	任意	污染源	有机体	遗传结构
自然关系	破坏	再污染	协调、无污染	干扰
生物多样性	减少	改变	保持或增加	改变

2. 生态工程与生物工程

生物工程技术(狭义的)指通过改变基因结构开发新物种或新变异体,以满足人类多种需要的先进技术。但生物工程的实施不可避免地对自然关系产生干扰,不可避免地改变了自然界的生物多样性结构,完全有可能对自然界乃至人类构成威胁。因此,生物工程产物的使用,必须首先进行小区域实验,进行其生态安全性评价,确信它对人类、自然界不构成威胁后,方可大规模推广利用。鉴于它潜在的危险,许多国家均以立法的形式对生物工程产物的利用加以管理。生态技术只是利用自然界现有的物种、现有的生态系统结构和功能,遵循生态工程原理和方法,经过合理的设计,以满足人类生态保护和发达经济需求的技术。两项技术的区别在于作用对象、所消耗能源、技术手段以及技术目标等方面(如表 1-1)。

三、生态技术、清洁技术和高新技术

高新技术是高新技术产业的根本,也是一个国家和地区科技、经济和教育等综合实力的集中体现,其特点是高投入、高产出、短周期和高经济效益。而高新技术本身则具有先进性、尖端性、综合性和高层次的覆盖度。高新技术产业由于需要高强度的投入,将耗费大量的化石能,对自然环境的影响,有时是破坏的作用,也是巨大的。考虑到传统技术企业和高新技术企业在运营过程中,往往对环境造成污染,一种新的技术——清洁技术应运而生,该技术也称零排放技术。即在原有的工厂运作过程的基础上,加配污染物处理系统,如污水处理系统、大气二氧化硫处理系统等。由此可见,清洁技术投入高、耗能大,其应用受到一定的限制。生态技术,被认为是又一次产业革命的基础,是利用生态系统原理和生态设计原则,如物质多层次分级利用原理、种群匹配原理等,从工厂使用的原料开始,系统全面地对工厂的运作过程进行合理设计,做到既有可观的经济效益和社会效益,又将其对环境的破坏作用维持在最小的水平,甚至根本杜绝绝对环境的破坏。

第二节 生态工程的产生背景

一、生态工程学产生的背景

生态工程是在本世纪 60 年代以来全球生态危机的爆发和人们寻求解决对策以及强调资

源环境保护的宏观背景下应运而生的,它是应用生态学中一门多学科渗透的新的分支学科。

60年代以来,全球生态危机表现为人口激增、资源破坏、能源短缺、环境污染和食物供应不足,所有这些虽然是人类面临的共同问题,但在不同的国家和地区表现不尽相同(Pimentel et al 1984)。如在西方发达国家主要面临的是由于高度工业化和强烈集约型的农业经营带来的环境污染和其他社会问题。根据美国国家研究院5年的研究,在农耕区施用的化学氮肥中,70%并未被作物吸收,有的进入地下水系使之毒化,有的使土壤发生盐化,还有的进入大气,破坏了臭氧层。西方和美国的现代农业一方面污染了环境,另一方面还直接危害社会。如大量的动物性食源添加到配合饲料中可提前蛋、禽、肉、奶的上市期,然而这些制品的质量难如人意:奶中的激素含量严重超标,造成婴幼儿的性早熟,以及疯牛病蔓延所造成的一系列社会问题等等。美国农业部官员也发出呼吁:政府的政策应支持发展有机农业,因为它是克服现代农业引起的危机的根本途径。而在发展中国家,所面临的不是单纯环境污染问题,而是由于人口增长、资源破坏、生产不足和环境污染综合发作的“并发症”。某些国家或地区的落后、愚昧、贫穷交织在一起,使当地社会陷于“恶性循环”的泥潭而不能自拔。如人口增长→比例失调→近亲婚配和拐卖妇女儿童→人口素质下降→恶性增长;再如转轨刺激下的多种模式的经济并存下多种矛盾(资源浩劫、污染泛滥)→失业、生产不足→通货膨胀→消费停滞→泡沫经济→多矛盾激化等等。这些国家不但要保护资源和环境,更迫切的是要以有限的资源生产出足够的产品,达到高产、优质、低耗、高效以供日益增长的人口。现实不容许这些国家仿效发达国家的模式,它们必须立足本地资源和条件去寻求适合于自己发展的途径和技术。生态工程恰恰就提供了这样的发展途径和技术,因而它的产生是必然的。

二、生态工程学的产生

就生态工程的实际应用来说,我国已有数千年的历史。基于我国是世界上最大的农业国,有数千年精耕细作的农作传统和经验。其中,“轮、套种制度”、“垄稻沟鱼”、“桑基鱼塘”等等就是相当成熟的生态工程模式。

然而,作为一个独特的研究领域,生态工程的研究迄今还不到30年的历史。它的产生有其科学理论基础和方法论基础。首先,本世纪三四十年代以来,生态学研究整个领域都取得了重大进展。生态学许多重要理论在这一时期得以形成。特别是生态系统概念的提出和生态系统生态学的建立,使生态学研究提高到一个崭新的水平。而且这一时期,整个科学技术与生产力进入一个突飞猛进的新时代,它不仅直接来自自然科学及技术手段的纵深突破,更主要的是各分支学科的横向渗透与交叉。生态工程导源于生态学,虽是应用生态学的一个分支学科,但其重要概念、理论、方法已经并正在被系统论、控制论、信息论、协同论、耗散结构论、突变论及混沌现象、自组织论等所渗透。正从过去传统的对自然界分门别类,且越分越细的研究倾向,变为以整体观、系统观为指导,在分析的基础上进行综合的突破;它将物理学、化学、生理学、毒理学、数学等自然科学的基础理论、成就以及农学、土壤学、水产学、畜牧学、林学、环保工程学、运筹学、计算科学等多种技术科学,和社会学、经济学等人文科学的成果吸收渗透进来,形成具有综合效益的新兴分支边缘学科。应用生态学的多分支,如农业生态学、城市生态学等也在这一时期迅速发展,并取得了许多重要成就,这些为生态工程概念的完善和生态工程学的建立奠定了科学基础。此外,系统科学的发展特别是生态工程学在各领域中的广泛应用为生态工程的研究也提供了理论和方法基础,发挥了重要作用。正如马世骏在70年代末预料的那样:“我们现

在的生活状态已在相当长的时间内逾越了某种确定的概念水平,现代生态学阐明,在网状连接的结构内,一个新水平的复杂系统正从以前的非系统概念中上升出来,许多科学家预料此种相互作用的新结构及其理论,即将在今后数年中有所创造和突破。”

1962 年美国 H. T. Odum 首先使用了生态工程(Ecological engineering)一词。他将其定义为:“人类运用少量的辅助能而对那种以自然能为主的系统进行的环境控制。”1971 年他又指出“人对自然的管理即生态工程”。1983 年他又修改此定义为:“为了激励生态系统的自我设计而进行的干预即生态工程,这些干预的原则可以是为了人类社会适应环境的普遍机制。”之后, Mitsch 等人也提出了有关定义和概念。

马世骏教授早在 1954 年研究防治蝗虫灾害时,即提出调整生态系统结构、控制水位及苇子等改变蝗虫孳生地,改善生态系统结构和功能的生态工程设想、规划与措施。结果取得显著的生态效益和经济效益。1979 年,在中国环境科学学会成立大会上他作的《环境系统理论的发展和意义》报告提到生态工程理论在工业发展中的实践意义。他说:“在工业发展过程中,出现的环境干扰和迫切需要采取的保护政策,促使我们不得不在社会-经济-自然生态系统-资源物质系统之间,考虑多方面互相依赖的特点,从而在社会科学和自然科学之间产生新的杂交科学前沿,即社会-经济-自然生态系统的结合。”他又说:“连接多系统的循环关系,可以及时有效地把人类和动物的废物运回土壤,把工业废物分别加以分解或再生,这对持续地维持现代化都市的优良环境和支持郊区现代化农业是重要的,它依据的机理就是模拟自然生态系统长期持续链状结构的功能过程,可称为生态系统工程。”继而他又精辟地提出生态工程是生态学的原理在资源管理、环境保护和工农业生产中的应用,从而为引导国内外生态工程研究打开了思路,奠定了坚实的理论和实践基础。

1987 年由马世骏主编的《中国的农业生态工程》一书在我国出版。1989 年,马世骏及颜京松、仲崇信等教授参与美国 Mitsch, W. J. 和丹麦 Jorgensen, S. E. 主编,多国学者参编的世界上第一本生态工程专著《Ecological Engineering》,成为生态工程学作为一门新兴学科诞生的起点。应当指出,由于生态工程的真正内涵及其研究是从我国开始传到国外的,1984 年美国召开的一次生态学术讨论会上,当马世骏教授介绍了我国生态工程的思想 and 研究现状时,引起了与会学者的浓厚兴趣和广泛关注;1989 年 10 月美国密执安州立大学生态学家 Dean Haynes 教授来华讲学时,完整地引用了马世骏关于生态工程的定义。

生态工程是在本世纪 50 年代后期以来,科技突飞猛进、工业迅速发展,部分资源紧张,环境污染及破坏日益严重,全球生态危机激化,人们寻求解决对策和途径这一社会需求的动力牵引下应运而生的。同时,系统科学、控制论等理论的广泛应用,开拓了科学家的宇宙观,注意到整体、开放与动态,以及电子计算机和痕量物质分析等技术的发展,为进行复杂系统结构和功能的分析、模拟创造了条件,这些相邻学科发展的感召效应促使生态工程的产生。另外生态学本身的自我完善,由过去的更多地显示自然属性进而更强烈地显示它的社会属性;由深层解析置换了表象描述,由对人类社会的被动追随到主动参与。这些因素的共同作用,赋予生态工程以“增幅共振”的效果。全球生态危机和社会问题的主要表现是环境污染与破坏、人口激增、能源短缺、自然资源遭受破坏、食物不足等,这些虽是人类面临的共同问题,但它们在不同国家和地区的表现不尽相同。另中国和欧美等西方国家生态工程产生的社会背景,包括社会、经济、历史、文化传统,科学技术发展程度和现状等有所不同,致所研究和应用生态工程的目的、理论基础,研究与应用的对象、设计原则、技术路线、生物多样性、能源、价值等方面各有特点,比较这

些特点、相互学习、取长补短,将有利于促进生态工程在全世界的进步与发展。

1. 西方生态工程学的产生

在西方发达国家和地区,生态危机主要表现在由高度工业化、城市化及强烈集约型的农业经营造成的环境污染和破坏日趋严重。近半个世纪以来,许多环保科技工作者、决策者和实践者不懈努力,探索治理与保护环境的各种途径和方法,试图达到无污染的零排放。实践揭示,按常规的环境工程途径和方法,虽然在局部环境治理与保护方面已有一些成效,但限于人力、物力和财力,难以全面地实现零排放目标,这在发展中国家更是如此。另按环境工程常规方法与途径治理污染,常常需要化石燃料或电能,为生产、供应这部分所需的能,往往又产生或增加另一类污染,将污染物从一种介质转移至另一种介质。为此,自 60 年代起,西方一些科技工作者试图运用生态和工程的某些原理和工艺来达到治理、保护和持续发展的目的,从而产生了生态工程。其重点是环境保护。在研究方法与成果方面,主要是研究、分析生态系统组成成分及机制,并在此基础上建立定量揭示系统的物流、能流和行为特征的动态模型与优化控制模型,并领先于世界。Jorgensen & Mitsch (1989)曾将生态工程原理归纳为 13 项并加以解释。即:① 生态系统结构和功能取决强制函数(Forcing function),如化学物质(包括水在内)输入及温度等;② 生态系统是自我设计(自我组织)系统;③ 在生态系统中物质是循环的;④ 生态系统协调需要生物功能和化学成分的一致性;⑤ 在生态系统中变化的过程具有随时间变化的特征;⑥ 生态系统成分具有空间范围;⑦ 生物和化学多样性对生态系统中缓冲能力(Buffering capacity)的贡献;⑧ 生态系统在其地理边界上是极有价值的;⑨ 群落交错区(Ecotone)是一些生态系统间的过渡带;⑩ 一些生态系统和另一些生态系统是结合的;⑪ 具有脉冲形式的生态系统常具有高生产力;⑫ 生物相互联系,尤其是在生态系统中;⑬ 生态系统具有与其先前进化的关系相一致的反馈机制、复原及缓冲的能力。

近几十年来,西方生态工程正在从研究走向应用。如在美国加利福尼亚州南部河口区从属于不同水文周期的湿地,建立了利用湿生植物香蒲等去除重金属,改善水质,并进行复垦的生态工程(Brown 1991)。利用以蒲草为主的湿地处理煤矿含硫化铁酸性废水(Fennessy 1989)。在伊利湖北部老妇河河口区建立了应用湿地缓冲与净化入湖河水的生态工程,处理陆上流来的地表径流,以防止水体富营养化等(Etnier 1991)。在丹麦格雷姆斯湖(Glums)建立了防治富营养化的生态工程(Jorgensen 1976),还有人进行应用生态工程去除堆肥及土壤中的重金属的试验(Jorgensen 1993)。德国建立了以芦苇为主的湿地处理废水的生态工程(Etnier 1991)。在瑞典的 Stensund 学院已应用室内水生生物的生态工程,处理净化该校的生活污水(Guterstam 1991)。有人还研究并正在应用伊乐藻和刚毛藻植物为主的人工生态系统去除过多的氮、磷的生态工程(Gumbrecht 1993)。在荷兰,已试用调控湖泊中生物种类结构(食物链网上一些环节)比例的方法防治富营养化(Richter 1986)。美国 1992 年提出的生产过程中废物产生与排放减量(Reduction)、废物回收(Recovery)、废弃物回用(Reuse)及再循环(Recycle)的环保 4 个 R 策略正在逐步实施,这些都是环保生态工程的重要措施。在西方应用生态工程实例较多、类型多样,限于篇幅此处不一一列举。但总的来说西方生态工程目前的应用范围比中国少。农业生态工程(包括有机农业、持续农业及现代农业),是以具体农牧场实践为主,对其研究以调查占较大比重。在研究方法与成果方面是对生态系统组成成分细节分析及机制研究较多。

2. 中国生态工程学的产生

像中国这样的发展中国家面临的生态危机,不单纯是环境污染,而是由人口激增、环境与

资源破坏、能源短缺、食物供应不足等共同组成的“并发症”。在此背景下,作为解决这一“并发症”的途径而产生的中国生态工程,不但要保护环境与资源,更迫切的要以有限资源为基础,高产、低耗、优质、高效、持续地生产出更丰富的产品与商品,以供应日益增多的人口的生活需要及其持续发展。实际状况不允许中国的生态工程仿效西方发达国家的模式,仅重点解决环境保护问题,而要立足本国情况,力求同步达到生态环境效益、经济效益和社会效益多目标,维护与改善生态系统,促进包括废物在内的物质良性循环,相互补偿,保证再生资源供给永续不断,人类生活与工作环境适宜与稳定,同时在经济方面有利,增产节耗,产品适销有出路,减亏增盈等。目前我国实际情况,使我们不可能生搬硬套发达国家防治环境污染的经验,单纯以治理污染为目的,不计较环保工程的投资和运转费用,也不强调环保工程商品生产以及实施、管理环保工程者(企业或事业单位)的直接经济收入。在社会效益方面,我国应充分发挥物质条件及科学技术的潜力,从社会需求出发,促使各种社会职能机构的社会效益提高,政策、管理、社会公益、道德风尚能为社会所认同,并有利于全社会的繁荣昌盛。我们的目标是自然-社会-经济系统的综合效益最高,而非单项效益最高。

中国是世界上历史悠久的农业大国,其传统农业已积累了丰富的精湛技术和优良经验。如轮种、套种制度,因时因地合理搭配种群,农渔、农畜、桑渔、林牧等综合生产与经营,有机肥还田,多层分级利用物质,再生循环维持地力,持续发展等这些都是符合生态学原理的。其中很多至今仍被广泛继承采用,且实践证明是有效的。它保证了中国以仅占世界7%的面积供养占全球22%的人口,且长期维持地力不衰。这些优良的传统农业经验本身就是朴素的自发生态工程,也是中国现代生态工程发展的重要基础。另外,中国古典哲学,如阴阳五行说中有关整体论、相生相克、阴阳调度、损其有余、益其不足等及事物运动不已、再生循环、平衡等思想,以及矛盾论、实践论中有关认识与实践的关系,事物变化中外因与内因的作用,以及“天人合一”的中国古代人类生态观的道理、事理、义理、情理的关系等,对中国生态工程理论的形成和发展,如整体、协调、自生、再生良性循环等,有极其重要的影响(王如松 1991, Yan & Zhang 1992)。由于中国研究与应用生态工程是多目标的,兼顾经济、生态环境和社会综合效益,故其形成与发展的基础除以生态学原理为主外,同时还吸收、渗透与综合了许多应用科学,如农、林、渔、养殖、加工、轻工以及环境工程等多种学科原理、技术和经验。生态工程在中国作为独特的研究领域及独立的学科,首先是马世骏于1979年提出的,并定义为:“生态工程是生态系统中物种共生与循环再生原理,结构与功能协调原则,结合系统最优化方法设计的分层多级利用物质的生产工艺系统。生态工程的目标就是在促进良性循环的前提下,充分发挥物质的生产潜力,防止环境污染,达到经济效益同步发展。”(马世骏 1987, 孙鸿良, 颜京松等 1992, Yan 1993)中国生态工程自形成以来,历史虽很短,但其研究、实践与推广的进展却极其迅速。在研究方面,在多学科渗透和结合的基础上,着重于系统组分间关系的综合,探索系统的结构、功能和趋势,而不仅是系统组分的细节分析和数量的增减。有关中国生态工程的研究论文、经验总结报告,迄今已有3 000余篇,其中有关生态工程的原理、理论可归纳为整体、协调、自生、再生与循环,因地制宜(马世骏等 1987, Yan et al 1991, 1993),以及社会-经济-自然复合生态系统的概念和相互关系等(马世骏 1984, Ma & Yan, 1989)。在生态工艺方面也初步总结出加环(生产环、增益环、减耗环、复合环和加工环);联结本为相对独立与平行的一些生态系统为共生网络;调整内部结构充分利用空间、时间、营养生态位,多层分级利用物质、能量,充分发挥物质生产潜力,减少废物,根据自然、经济(特别是市场)情况,因地制宜地促进良性循环;受破坏的生态系统的恢

复和重建等(Yan 1989,1992)。研究与应用生态工程的范围很广,涉及农业、环保、林业、养殖等各个领域,分布区域也较广,全国除西藏及台湾外的所有省及自治区,都有研究与应用生态工程试点。自生态工程在中国正式产生至 1991 年,仅 10 多年时间,有计划和组织的农业生态工程(或称生态农业)的试点县、乡、村或农场就有 22 000 多个,覆盖农田面积 25 000km² 以上,内陆水体 76km²,草地 912km²,人口约 2 581 万,另有近百个环境变化水体工程试点均不同程度地获得经济、生态环境和社会效益(孙鸿良等 1991, Yan et al 1992,1993)。特别是举世瞩目的中国五大防护林生态工程:三北(华北、西北、东北)防护林体系、太行山绿化工程、海岸带防护林体系、长江中上游防护林体系和农田林网防护林体系等,计划从 1978 年至 2050 年,人工造林 948 600km²,至 1991 年已完成 191 045km²,对减少径流泥沙,拦洪消减洪峰,防风固沙,改善保护区内农田小气候,促进农业增产及多种经营,已开始显示良好效益(Yan 1993)。环保生态工程类型多样,如湖北鸭儿湖治理有机磷和有机氯农药污染的生态工程(张角元等 1982,孙美娟等 1982),苏州外城河葑门支塘污水资源化生态工程(Ma & Yan, 1989, Yan, 1987),一些酒厂、缫丝厂的废水处理和利用生态工程(颜京松 1986),防治太湖局部水体饮用水源蓝藻爆发的生态工程(濮培民等 1993),以及多种多样的城市污水资源化的生态工程(国家环境保护局 1993),应用试点已超过百处。

三、中外生态工程特点的比较

除前述中国与西方生态工程的产生与发展历史背景、理论基础、主要目标和发展现状各有特点外,在应用对象、设计原则、技术路线等方面也各有特点(见表 1-2)。

表 1-2 中国和西方生态工程比较

项 目	欧 美	中 国
背 景	经济及科学技术发达,生态危机主要表现在环境污染	经济及科学技术正在发展中,生态危机表现在人口众多、资源破坏、能源不足、食物不充裕和环境污染多方面
理论基础	生态学原理及生态控制论为主,综合多门自然基础学科	生态学原理及生态控制论为主,综合多门自然和应用技术学科及社会学科
对 象	以自然生态系统为主,或重建生态系统	以社会-经济-自然复合生态系统为主
目 的	环境保护为主,偶兼顾经济效益	经济、生态、环境和社会的综合效益
设计原理	生态系统的自我设计为主,辅以人为干预	按预期经济、生态和社会的目的及规律,人为干预为主
技术路线	主要调控强制函数	主要通过生态工艺调控系统内结构功能
能 源	太阳能为主,辅以化石燃料或电能及很少人力	太阳能为主,辅以人力及较少化石燃料或电耗
再生循环	可采用	绝对需要
商品生产	通常无	农、林、渔、畜禽产品及一些轻工原料
生物多样性	单纯	复杂
价 值	美化环境,自然资源保护,少或无市场价值	高产、优质、低耗、高效生产商品,废物充分利用,环境保护

西方生态工程研究及处理对象,一般按自然生态系统来对待,如各类湖泊、草原、森林等,及一些人为(或称重建)生态系统,即在自然生态系统中加入或构造某些原本无的人为结构,如