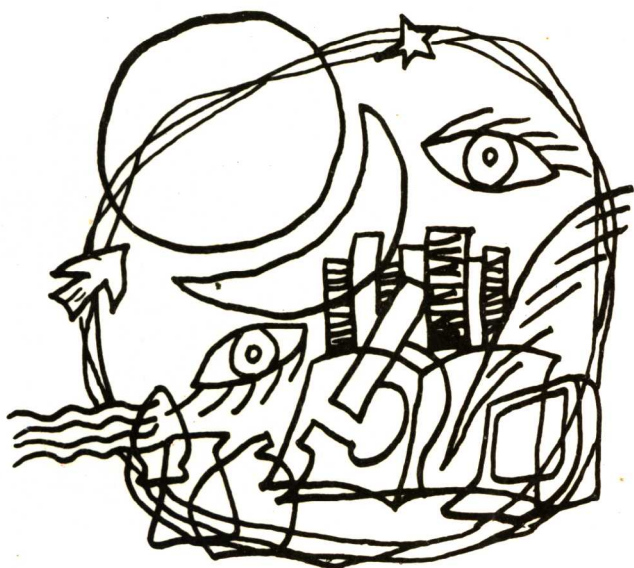




华东师范大学中青年学术著作出版基金会

生态工程原理与应用

● 由文辉 编著



由文辉 编著

生态工程原理与应用

责任编辑 罗晓宁
责任校对 李雯燕

生态工程原理与应用
由文辉 编著

华东师范大学出版社出版发行
(上海中山北路 3663 号 邮政编码 200062)

新华书店上海发行所经销

上海新文印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 7 插页 4 字数 170 千字

1998 年 9 月第 1 版 1998 年 9 月第 1 次印刷

印数 001—1,000

ISBN 7-5617-1696-6/X·002

定价:10.00 元

前 言

生态工程(ecological engineering)是在本世纪 60 年代全球爆发的生态危机,以及人们为了寻求解决危机的对策、有效地加强资源利用和保护环境这一宏观背景下应运而生的。它是一门多学科相互渗透的新兴边缘学科,也是应用生态学中的一个新分支。如果自 H.T.Odum 1971 年将生态工程理解为人类对大自然的管理开始,生态工程作为科学研究中的一个专门领域,迄今只有 20 多年的历史。

60 年代以来的全球生态危机主要表现为人口激增、资源破坏、能源短缺、环境污染和食物供应不足。虽然所有这些是人类面临的共同问题,但在不同国家和地区的表现则不尽相同。在西方发达国家中,主要面临的是由于高度的工业化和强烈集约型的农业经营带来的环境污染问题。为了解决这一问题,60 年代末,人们曾认真讨论过“无废物”目标,意指完全消除污染,防止污染物进入环境。当时人们对改善环境的技术笃信不移。后来,人们逐渐认识到,由于种种原因,运用常规方法不可能实现所谓的“无污染”目标。首先,用于治理环境污染的人力、财力、物力是有限的,尤其在发展中国家更是如此;其次,当采用某种净化技术时,可能将污染物由一种介质转移到另一种介质之中去。为了降低污染、保护资源,人们试图运用生态系统的某些功能(如生物净化功能)以实现其目标,于是发达国家便开始了生态工程研究。在发展中国家,所面临的不只是单纯的环境污染问题,而是由人口增长、资源破坏、生产不足和环境污染共同组成的“并发症”。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、低耗、优质、高效,以供养日益增长的人口。它们必须立足于本地资源和条件去寻求适合于自己的发展途径和技术。生态工程恰恰提供了这样一种发展战略与实现低耗、高效、无废物或少废物生产的适用技术。目前,生态工程已在资源管理、环境保护、工农业生产、城市建设以及重大工程建设中得到广泛的应用,并发挥着越来越重要的作用。

生态工程研究虽然已取得了很大的成就,但目前尚缺乏进一步的理论探索与系统总结,特别是缺乏大批定量化、规范化、系统化、完整化的样板实体,而经验性的、低水平的、重复性的工作却很多,限制了生态工程向深度发展和在高技术水平方面的应用。这正是作者编写此书的意图所在。

著名生态工程学家、中科院南京地理湖泊研究所颜京松教授传授给我生态工程思想,多年来始终指导我的科研和教学工作,在此深表感谢。我还要感谢我的导师宋永昌教授多年来对我的成长所给予的极大帮助和无私奉献。

限于本人知识和经验的不足,尽管在写作过程中,力图遵循颜京松教授的研究思路 and 主导思想,客观地反映事物本质,但仍可能存在许多不足之处,恳切希望读者给予指正。

本书出版得到华东师范大学中青年学术著作出版基金的支持与资助,本人非常感谢。

作 者

于华东师范大学

目 录

前言	(1)
第一章 绪论	(1)
一、生态工程的定义	(1)
二、生态工程的提出	(2)
三、生态工程产生的背景	(3)
四、生态工程的目的与特性	(5)
五、国内外生态工程的发展:历史、现状和趋势	(7)
六、生态工程研究在我国战略地位	(21)
第二章 生态工程原理	(25)
一、有机整体原则	(25)
二、结构与功能协调原则	(27)
三、物质循环与再生功能	(28)
四、生态位(场)理论	(29)
五、生态界面与边缘效应理论	(31)
六、种间相互关系理论	(32)
七、种群动态与适应对策	(33)
八、耐受性定律	(34)
第三章 生态工艺技术	(36)
一、改进食物链的结构,扩大系统效益	(36)
二、联结平行生态系统为共生网络	(38)
三、充分利用生态位	(38)
四、物质能量的分层多级利用	(39)

五、多功能系统的完全代谢过程	(39)
六、多功能农工联合生产系统	(40)
七、生物资源的科学管理	(41)
第四章 生态工程设计步骤和方法	(43)
一、明确问题	(43)
二、确定目标	(44)
三、系统综合	(44)
四、系统模型化	(45)
五、系统最优化	(49)
六、系统的评价	(51)
七、决策与规划	(54)
第五章 生态工程能量过程分析	(55)
一、确定分析对象的边界和组成部分	(56)
二、确定系统主要成分间的相互关系,画出能流图	(57)
三、确定系统输入量和输出量	(61)
四、将各种流量转换成能流量	(61)
五、能流分析	(74)
第六章 生态工程物质循环分析	(76)
一、确定各组分或亚系统的营养物质输入量和输出量	(76)
二、营养物质循环和平衡分析	(83)
三、保持生态工程系统物质循环平衡的途径	(86)
四、营养物质流动情况分析,建立物流模型	(88)
第七章 生态工程经济效益分析	(91)
一、技术经济分析的基本原理	(92)
二、生态工程的投入产出分析	(97)

三、生态工程的技术经济比较分析	(102)
第八章 农业生态工程	(103)
一、中国农业生态工程的特点	(104)
二、农业生态工程技术	(104)
三、应用实例	(114)
第九章 林业生态工程	(121)
一、水土保持林	(121)
二、护堤护岸林	(123)
三、农田防护林	(124)
四、固沙林	(126)
五、环境保护林和风景林	(128)
六、我国及世界主要林业生态工程	(129)
七、应用实例	(133)
第十章 废弃地恢复生态工程	(138)
一、废弃地的危害	(139)
二、我国废弃地现状	(139)
三、废弃地生态破坏的过程和特征	(141)
四、废弃地治理的总体对策原则	(142)
五、废弃地恢复生态工程	(144)
六、应用实例	(151)
第十一章 废水的再生与再利用	(158)
一、废水中的主要污染成分	(158)
二、废水排放对生态环境的影响	(159)
三、废水再生与再利用的主要生态工程技术	(160)
四、应用实例	(174)
第十二章 基塘系统	(182)
一、基塘系统水陆相互作用的生态模式及其特点	(182)

二、以基塘系统改造和开发低洼渍水地	(190)
三、基塘水陆立体种养体系与菜篮子工程	(192)
四、田塘系统	(193)
五、应用实例	(195)
参考文献	(204)

第一章 绪 论

一、生态工程的定义

生态工程(ecological engineering)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,结合系统工程的最优化方法,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自然界良性循环的前提下,充分发挥资源的生产潜力,防止环境污染,达到经济效益与生态效益的同步发展。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。

上述关于生态工程的定义是由我国著名生态学家马世骏教授于1984年所提出。生态工程学是一门正在形成中的学科,为应用生态学的分支学科之一。但生态工程学又不同于普通的应用生态学。正如化学工程、生化工程与生物化学均根植于其原学科一样,生态工程也根植于生态学。它拓展了应用生态学的一般概念,后者通常仅局限于环境影响的控制评价和自然资源管理。基础生态学和应用生态学是生态工程的基础,而生态工程又不完全局限于此,它又把生态理论和管理实践反馈给理论和应用生态学。由于生态系统重建中采用了相同的研究方法,所以生态工程为推动了解生态系统提供了大量机会。生态工程也不同于环境工程,后者显然属于解决污染问题的科学原理的应用范畴,而这些原理通常包括能源和资源的集约运转,如设置贮罐、净化器、过滤器和化学沉淀器等。可是,生态工程是工程学,其应用定量方法并根据基

基础科学技术对自然环境进行规划,是以自持生态系统为基础工具的技术,其组元是全世界全部生物物种。利用生物物种、群落和生态系统以及依靠生态系统自持性是生态工程的核心,并以此区别于环境工程技术,后者依靠装置设备来去除、转化或控制污染物,但一般并不直接操纵生态系统。生态工程及其同义词生态技术也不可与生物技术混淆,后者是指生产执行特殊功能的新品系和有机体的遗传操作技术。生态技术与生物技术之间的差异涉及到它们的基本原理、调控、规划及最终可能的社会成本(表 1-1)。然而,两者的发展却多少有些相似,生态技术几乎处于生物技术 20 年前的发展阶段。

表 1-1 生态技术与生物技术的比较

特 征	生态技术	生物技术
基本单元	生态系统	细 胞
基本原理	生态学	遗传学、细胞生物学
调 控	促进功能、组织	遗传结构
规 划	人类辅助下自持	人类规划
生物多样性	保 护	改 变
维持和开发成本	合 理	巨 大
能源基础	太阳能	化石燃烧

二、生态工程的提出

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:“人运用少量辅助能而对那种以自然能为主的系统进行的环境控制。”1983 年他又修改此定义为:“为了激励生态系统的自我设计的干预即生态工程,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。”东欧则应用生态工程的同义词生态技术,其并被认为是“在充分了解生态规律基础上的

生态系统管理技术与方法,以尽量降低技术成本及其环境损伤为原则”,故又称之为生态工艺(ecotechnology),其代表人物有 D. Uhlmann (1983), M. Straskraba (1984, 1985)及 A. H. Cnanck (1985)。1988 年及 1989 年美国的 W. J. Mitsch 提出生态工程的概念是“为了人类社会和自然环境两方面利益而对人类社会和自然环境的设计”。因此,尽管早在 60 年代初期便有人提出了生态工程这一名词,但始终没有确切概念,直至 1984 年我国生态学家马世骏教授才提出了完整的令人信服的上述生态工程定义。然而,无论国内还是国外,生态工程的研究与应用正深入到更广阔的领域,涉及的类型与模式也更加多样化,涉及的层次也是由微观、中观至宏观不等,随着更多学科之间的相互渗透和进一步综合发展,生态工程的概念亦必将愈加完善。

三、生态工程产生的背景

生态工程是本世纪 60 年代以来全球生态危机(表现在人口激增、资源破坏、能源短缺、环境污染和食物供应不足等方面)的爆发和在人们寻求解决对策和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分支边缘学科。

生态危机虽然是人类面临的共同问题,但在不同的国家和地区所表现的却不尽相同。在西方发达国家中,主要面临的是由于高度的工业化和强烈集约型的农业经营带来的环境污染问题。为了解决这一问题,60 年代末、70 年代初人们曾认真讨论过“无废物”(zerodischarge,即零排放)目标,意指完全消除污染,防止污染物进入环境。当时人们对改善环境的技术笃信不疑。后来人们逐渐认识到,由于种种原因,运用常规方法不可能实现所谓“无污染”目标。首先,用于治理环境污染的人力、财力、物力是有限的,尤其在发展中国家更是如此;其次,当采用某种净化技术时,有可能将

污染物由一种介质转移到另一种介质之中。为了降低污染、保护资源环境,人们试图运用生态系统的某些功能如生物净化功能以实现其目标,于是发达国家便产生了生态工程研究。在发展中国家,所面临的不是单纯的环境污染问题,而是由人口增长、资源破坏、生产不足和环境污染共同组成的“并发症”。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,以供养日益增长的人口。现实不容许这些国家仿效发达国家的发展模式,它们必须立足于本地资源和条件去寻求适合自己的发展途径和技术。生态工程恰恰提供了选择其一种之发展战略与实现低耗、高效、无废物、少废物生产的适用技术。

生态工程在我国的提出和发展不是偶然的,不仅基于我国人口多、劳动力多这一现实状况,而且作为世界上最大的农业国之一,我国有数千年精耕细作的农业传统和经验,如“轮、套种制度”、“垄稻沟鱼”、“桑基鱼塘”等本身就是相当成熟的生态工程模式,因此也最有条件在此基础上向深度发展。可以这样认为,80年代农业生态工程在我国的蓬勃发展在某种意义上是对我国传统农业精华的总结和发展,既适合我国国情,又符合发展需要。

作为一个独特的研究领域,生态工程的产生有其科学理论基础和方法基础。首先,本世纪30年代以来,生态学研究的各领域都已取得了重大进展,生态学许多重要理论在这一时期中得以形成,特别是生态系统概念的提出和生态系统生态学的建立,使生态学的研究提高到了一个崭新的水平,而且这一时期,整个科学技术与生产力进入了一个突飞猛进的新时代。生态工程的重要概念、理论、方法已经并正在为系统论、控制论、信息论、协调论、耗散结构论、突变论、混沌现象、自组织论等所渗透,正从过去传统的以分析为主,对自然界分门别类的研究且越分越细的倾向,向以整体

观、系统观为指导,在分析的基础上进行综合的方向发展,正将物理学、化学、生理学、毒理学、数学等自然科学的不同分支学科的基础理论、方法、成就以及将农学、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的成就,还有社会学、经济学等人文科学的成就吸收糅合进去。其次,系统科学的发展特别是系统工程在各领域中的广泛应用为生态工程的研究提供了理论和方法论的基础,为其发展发挥了重要的作用。

综上所述,生态工程的产生有其历史背景与现实需求,在理论和方法上皆已打下了一定的基础。

四、生态工程的目的与特性

(一) 目的

1. 恢复业已被人类活动严重干扰的生态系统,如解决由人类活动所造成的环境污染、气候改变或土地失调等问题。
2. 建立具有人类和生态价值的新型持久性生态系统。
3. 建立生态系统的生命支持功能并最终保护之。

(二) 特性

1. 自持与持久性

生态工程依赖的是生态系统的自持能力。一旦环境变化,自然系统则发生漂变。一种物种被另一种物种取代,食物链重新组成。随着单个物种的转移和适应,最终形成适合所处环境的新系统。生态工程参与生态系统的设计,提供先驱物种的选择机会及启动物种的条件,而自然界则完成其余的工作。生态工程中引入多个物种是推动系统自组自持选择进程的一种手段。

生态系统一经设计、建设或恢复,就必须在人类谨慎地干预下

通过自持而无限期地自我维持。这就意味着,正如依靠太阳能产品运行的生态系统一样,该生态系统不再像传统技术方法那样依赖技术能源运转,即使系统偏离设计条件,自我维持也不能说是失败(其行为最终仍是可预测的)。也就是说,生态工程并不推进生态系统及其环境特定界面的形成,其计划中也不考虑自然进程,如演替与竞争等。

2. 生态系统保护

生态工程本身不是生物保护,而是导致生物保护。它确立最能满足人类需要的非生物系统,以满足现有生态系统的人类需要。这就是说,生态工程师手中的工具是世界上一切可能存在的生态系统、群落、种群和有机体。所以,生态工程的直接后果是资源合理保护,它反对忽视系统中的任何成分。例如,尽管人们早已知道湿地作为鱼类和野生生物栖息地的意义,可是,在生态工程试验和观察中,人们一旦发现其防洪和水质改良价值,湿地保护工作就会得到更广泛的认同,再次成为研究热点。简言之,对生态系统价值的认识保护了生态系统。

3. 严格的检验手段

生态工程将是许多生态学理论最终的检验手段。了解一个系统,无论是一部汽车、一块手表还是一个生态系统,最好的方法是“再组装、修复、调试以使其正常运转”。坦率地说:“耗时恢复系统劳而无功最令人信服的原因之一就是许多公认的生态学理论与概念存在着严重的缺陷。”有人把已被干扰的生态系统的恢复工作称为“对该系统知识的严格检验”,并指出,尽管我们不能用一个已恢复的生态系统来证明生态学理论,但是,我们将“从失败中学到比成功更多的东西,因为失败清晰地揭示了不足,而成功只是巩固和支持,决不可能完全确证之”。

五、国内外生态工程的发展:历史、现状和趋势

如果自 H.T.Odum, 即 1971 年以来, 人们将生态工程理解为人类对大自然的管理, 生态工程作为科学研究中的一个专门领域, 迄今只有 20 多年的历史。事实上, 如以 80 年代初期马世骏教授完善生态工程概念为标志, 其真正的研究与发展, 仅有十几年的历史。但这十几年, 我国生态工程建设如雨后春笋般迅速发展。马世骏教授还不误其时地组织了两次有关学术会议, 一次是 1984 年 12 月在北京香山召开的全国农业生态工程学术讨论会, 另一次是 1988 年 8 月在北京大兴召开的国际生态工程学术讨论会。此外, 颜京松教授等于 1988 年在南京举办了全国生态工程研讨班, 由马世骏、仲崇信、颜京松等教授, 美国的 W.J.Mitsch 及丹麦的 S.E.Jorgensen 等教授讲授生态工程原理、方法及案例, 全国有 24 个省、市的 60 多人参加了学习。1989 年, 在美国国家自然科学基金委员会及中国科学院资助下进行了中美合作的“生态工程原理”的研究课题(由马世骏、颜京松、李典谟及 Mitsch 和 Jorgensen 来承担)。这一切皆将我国生态工程研究与实践推向一个新的阶段。在国外, 70 年代初期有两方面研究与此有关, 一是替代农业研究, 一是环境工程研究。虽然那时尚未明确出现生态工程这一名词, 但均与生态工程研究有着密切的关系, 有些研究项目实质上已属生态工程研究的范畴了。1986 年在美国纽约 Syracuse 举行的第四届国际生态学大会中专门举行了生态工程会议, 交流了各国生态工程研究进展, 我国代表高拯民及颜京松介绍了我国生态工程的研究案例, 引起了很多国家代表的兴趣。1991 年 3 月在瑞典又举行了污水处理生态工程国际学术讨论会, 来自世界 20 多个国家的百余名代表在会上交流了各国生态工程研究及应用的进展, 我国颜京松介绍的我国生态工程研究及应用现状, 特别是多层分级利用的

污水处理生态工程所同步取得生态环境、经济及社会效益的案例及经验,受到很多代表的高度赞赏,纷纷提出要与我国代表进行更进一步的交流研究。这些都反映了在生态工程这一领域内,无论是理论研究还是实践应用,我国在国际上已处于领先地位。1996年10月在我国北京成功地举办了“1996国际生态工程大会”,与会代表来自23个国家和地区,约200余名。会议明确了生态工程的定义与基本特征,论证了生态工程对于可持续发展的重要作用,促进了国际交流与合作的发展。

(一) 国外有关生态工程的研究及发展

1. 国外农业生态工程的研究

从本世纪30年代起,随着大型农业机械的出现、化学工业的飞速发展以及农业生物技术的开发,新的生物品种不断涌现,使西方发达国家的农业劳动生产率大大提高,农畜产品也大幅度增长。这种以开发廉价化石能源及工业技术装备为特征的集约化农业被称为常规农业,它在60年代达到鼎盛时期。但进入70年代以后,随着常规农业的普遍推行,其自身的问题逐渐明显地暴露出来。这些问题包括:① 常规农业能量消耗过高,能量投入的边际效益过低。在石油价格上涨时期,这一问题直接表现为农田能量产(出)投(入)比值下降,农业成本过高而经济效益下降。② 常规农业导致或加剧了土地资源的衰竭(特别是水土流失、风蚀和地下水过量开采等)。③ 由于常规农业在动、植物品种上的单一和结构上的单调,加重了病虫害和杂草的发生与蔓延。④ 大量化学物质的投入,造成土壤、水体和农产品污染严重。这些问题不但影响到农业生产条件的维持能力,还威胁到农产品持续供应的可能性。为了解决这些问题,自70年代初期开始,西方发达国家开发了多种形式的替代农业。其中主要包括综合农业、再生农业、有机农