



普通高等教育“十三五”规划教材

新型生态科学系列

生态工程与规划

Ecological Engineering and Planning

钟晓青 著



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材
新型生态科学系列

相对“物态”工程学的“生态”工程学科类之新视野：
Relative “Physical” Engineering: New Horizons in the Subject of
“Ecological” Engineering

生态工程与规划

Ecological Engineering and Planning

钟晓青 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

生态工程是相对物态工程而言的。生态学的理念和尺度是三个层次(种内、种间和天人)生态关系的高效和谐,建立在世界是由生命及生命系统组成的唯生主义的基础之上。生态工程与规划是超越并包容物理思维、物理安全的生态思维和生态安全的生态机制、生态机巧的工程学之系列工艺的生态表达。

本书是在追求人类三层次生态关系无废无污、高效和谐的目标基础上,用循环经济、低碳经济和生态经济的物质开放式闭合循环生态机巧,建构废料和原料、碳源和碳汇的循环对接机制,以及和谐人类与动植物、与微生物、与大自然之间的协同进化、共生共存的生态关系,取得人类生态、经济、社会三方面的可持续发展。

本书可作为高等院校生态学专业的教材,作为文、理、工、农、医、经、管、法等交叉学科的参考读物,也可以作为生物学、地理学、环境学、规划(设计)学、工程学、经济学、管理学、物理学、化学、农学、哲学、医疗、卫生、养生、保健、文化、艺术、法律等相关专业的教材和教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

生态工程与规划/钟晓青著. —北京:科学出版社, 2017.6
普通高等教育“十三五”规划教材·新型生态科学系列
ISBN 978-7-03-052726-4

I. ①生… II. ①钟… III. ①生态工程-高等学校-教材 IV. ①X171.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第100665号

责任编辑:席慧/责任校对:李影

责任印制:吴兆东/封面设计:铭轩堂

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>

北京中石油彩色印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年6月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017年6月第一次印刷 印张: 17 3/4

字数: 454 400

定价: 49.80 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

李约瑟之问“近代科学为什么没有诞生在一直领跑世界的中国？”

很多种答案都不尽如人意，许多中国人都瞠目结舌，懊悔不已。

生态学的新答案是：李约瑟之问应该将“近代科学”改为“近代‘物态’科学”。因为，观察、诘问、实践、升华三层次生态关系的人类生态文明指引的主导、主流学科，相对物态化思维的生态学之真正意义的生态科学，早就诞生并延续在中国，即使在 1840 年“坚船利炮”以后的物态化过程中，仍然是海纳百川，有容乃大。

在人与人之间的种内关系层次，两千年前的诸子百家就已经在生产生活实践中透析，“半部论语治天下”反映的就是“严于律己，宽以待人”的金科玉律，也就是当今世界根治人与人之间利益纠结之生态安全的秘诀或法宝。

在人与其他物种的种间关系层次，《黄帝内经》《本草纲目》《伤寒论》就是透析人类与动物、植物（甚至微生物）相互关系的见证，甚至为当代中草药物态化成果青蒿素的发现奠定了重要的基础。

在人与天（大自然）之间的生态关系层次中，以《道德经》为代表的“道法自然”学说，表征了中国人在古代就超越了现代层次的听天由命、人定胜天，进入了尊重自然的天人合一的境界。

伴随着工业革命以后的物态科学技术的突飞猛进，人类取得了物理、化学系统及物态工程的诸多奇迹，彻底地改变了世界，并具备了无与伦比的造就及毁灭地球的能力。由于对生态世界的漠视或者无知，不遵守生态法则，肆意改变生态秩序，藐视自身长期进化形成的生态习性。热衷于控制性的瞬态、离态、偏态、病态甚至死态的实验、试验，轻视长期的、稳定的生命要素、生态习性、生命常态过程的动态保持，相当的精力放在了无节制的欲望满足、偏态病态的纠正和治疗之中。

在追求物态科学技术的革新、革命中，人类及地球生命过程中的物态化扰乱成为“高科技”发展的重要方向，这也是人类从现实中的物态文明走向生态文明的进程中，必须用生态抑或物态思维指导工程与规划的重要分水岭，以及相应的立论、方式、方法、路径、目标和结果的重要区别所在。

海克尔之后的生态学，经历了动物、植物并行的近代生态学的并行期，在细胞学说之后、微生物的发现之后进入物种躯体生命科学的范畴，1940 年生态系统及生物地理群落的概念成为生态学突破个体、物种、种群、群落的层次进入宏微观生态系统的领域，至此，生命世界的雏形开始了对物质世界的包容和超越的新时代。

现代生态学的结构功能演变平衡的理论进展，凝练了生态位、竞争、共生、边缘优势、 r - K 对策、生态容量、低碳、循环、生态经济等原理、法则和工艺，为物态工程的生态工艺化奠定了基础。

生态工程是建立在对宏、微两个尺度上的生命系统的常态维持、建构和表达的基础之上，

是相对于物理学、化学原理构建的物理系统、化学过程的物态工程而言的。两者之间的重要区别是前者是生命系统的常态维持、维护、建构和表达，是顺势而为呵护生命；后者是物质系统的冶炼、锻造、控制和操纵，是自成体系的，但利害双刃物贵命轻。

世界是物质的，更是生命的。所有的物质都包括、被包括在大大小小的生态（命）系统之中。物质是生命的瞬态、离态、偏态、病态甚至死态。只见物质，不见生命，结果必定是在不同的生态层次，主观上、客观上对生命系统的常态、秩序、习性、结构、功能、演变、均衡造成不同程度的干扰。这些干扰，甚至是破坏，有些可以被生态系统的容量所包容，但是并非所有的肆意妄为都可以完好如初地被消融在生命系统的常态运行过程之中。

物理（态）学的理念和尺度是“拆分”思维，在追求“物质利益最大化”中创造了机械、机器及工业化的物质文明，建立在“世界是物质的，物质是在不断地运动”的唯物主义的基础之上。最简单、最重要的生态安全理念是人类三个层次（种内、种间和天人）生态关系的高效和谐，建立在世界是由生命及生命系统组成的哲学理念，以及对唯物主义包容和超越的唯生主义的基础之上。生态工程与规划是超越并包容物理思维、物理安全的生态思维和生态安全的生态机制、生态机巧的工程学之系列工艺的生态表达。

本书的第一篇为基本理论及关键技术，主要论述生态学、工程学、规划设计的基本理论，物理安全和生态安全、物理思维和生态思维的区别和联系，以及生态工程中的生态工艺的规划设计的表达方式、步骤和手法。主要从生态、工程、规划设计三个方面系统地讨论其切入点、关键点、制高点等理论和实操层面可能遇到的种种问题。

第二篇为微观生态工程与规划，包括基因、发酵、繁育、养生、医疗等生态工程与规划的实操案例。基因工程是生命科学化的一个重要的途径，双刃效应中也是生命科学偏离常态走向偏态、离态、病态、控制态甚至死态的一条歧途。其规划的要点是考虑生命常态的坍塌、变形，以及生命系统结构、功能、进化、均衡等制约因素中的尊重生态法则、延续生态习性、保持生态秩序的种种问题，目前这种肆无忌惮地串界、串门、串纲、串科、串属、串种的发展方向需要一定尺度的生态约束，并最终由物态工程向生态工程的方向发展。人类在对与微生物的生态关系中，发酵、发霉、发病是现实的认识水准，发酵生态工程与规划同样需要用物态工程思维向生态工程的转换。生命的繁育在长期的生存适应中，形成了一定的生态习性、生态秩序和生态规则，有性生殖是生命发育的基本准则，其他诸如扦插、嫁接、压条、埋条甚至克隆，一定要以协同进化、持续发展为终极目标。养生工程延续我国千年文化中对生命常态把握维持、偏态调整的非物理、化学思维，从人类三层次生态关系的互动中融合最新的高效和谐的生态理念。医疗生态工程与规划中，保持人类生态三层次生态关系调整的中医独立路径，与物理化学思维基础的西医特立独行（并行）、相互影响、相互融合的 5 条路径，是国家层面的医疗卫生发展的重要方向。

第三篇为宏观生态工程与规划，包括水资源、森林生态、生态农业、生态工业、生态城市等生态工程与规划的理论与实践。水资源生态工程与规划的要点是保持区域相对中心、独立的均衡、循环体系，重点放在江河湖海的水污染、水供给、水需求方面，注重产水模数、耗水系数的掌控和调节。森林生态工程与规划的要点是在低碳转型的时代背景中，利用碳源和碳汇对接的市场经济平台，建立区域的碳均衡、碳中和的生态经济、低碳经济、循环经济的机制，兼顾区域经济的均衡、贫困山区的扶贫脱贫，在排污权交易的经济机制上运用生态经济的机巧解决现实中的全球气候变化的世纪难题。生态农业工程与规划主要是在剥离、区

分生命过程中物态化的异化及污染,回归生态生产的本原,限定物态生产的范围,与新农村建设的总体思路作相应的生态经济耦合。生态工业工程与规划主要是在物态生产为主体的工业过程中,运用无非废工艺、废料与原料的循环连接,以及生态法则生态秩序的有所为有所不为的生态规范,与工业 4.0、互联网+等现代理念进行生态思维的融合,建构可持续发展的生态工业新体系。生态城市工程与规划主要是沿袭人类理想家园的畅想,从乌托邦、田园城市、园林城市到海绵城市,用生态开放式闭合循环缔造三层次生态关系高效、和谐、可持续发展的理想家园。

全书是在循环经济、低碳经济和生态经济理论的基础上,融合“物质开放式闭合循环”的生态机巧,建构“废料和原料”、“碳源和碳汇”的循环对接机制,重视生命常态、纠正偏态、防治病态的整体方案策略,在历经 35 年(1982~2017 年)的广东珠江三角洲、广西玉林、湖南张家界、四川泸州、甘肃陇南、宁夏贺兰山、黑龙江大兴安岭、吉林临江、福建三明等省市的 100 多项旅游、城市、区域、森林公园、自然保护区、风景名胜区等规划与工程的实际操作案例及理论升华中,跳出“学院派”式的象牙塔理论的模式,试图将生态学的新思维、新理念通过工程与规划设计的手法、步骤、过程表达出来,并以教材的形式呈现出来。

笔者才疏学浅,虽然三十多年夙夜在公,砥砺前行,撸起袖子加油干,主观上十分认真但客观上存在的缺点和疏漏在所难免,敬请批评指正。

钟晓青

2017 年 2 月于中山大学

目 录

前言

绪论	1
0.1 “生态”工程的“物态”起源	2
0.2 生态工程的高效和谐原则	3
0.3 生态工程的“开放式闭合循环”原理	5
0.4 生态工程的结构基础及功能表达	6
0.5 生态工程与规划的类型与层次	8
复习思考题	9

第一篇 基本理论及关键技术

第1章 生态工程与规划的关键术语	12
1.1 生态学关键术语	12
1.2 工程学关键术语	17
1.3 规划学关键术语	19
1.4 生态工程与规划关键术语	21
复习思考题	24
第2章 生态工程与规划的核心概念	25
2.1 人类及其他生物生存的 r-K 对策	25
2.2 化解资源约束的“魔咒”	26
2.3 生存资源的重新分配	27
2.4 循环经济的发展模式	28
2.5 低碳经济的转型方式	29
2.6 绿色 GDP: 地球三大类“生产”的测度	30
2.7 边缘化、边缘优劣势理论	32
2.8 “先污染, 后治理”的发展陷阱	33
2.9 企业排废的“有限责任”模式	34
2.10 区域排污权交易机制	35
2.11 生态足迹的均衡尺度	37
2.12 区域生态容量分配模式	38
复习思考题	40
第3章 生态工程与物态工程的区别及联系	41
3.1 物理系统及物理思维	43
3.2 生态系统及生态思维	44

3.3 物理工程及物理安全	53
3.4 生态工程及生态安全	55
3.5 物理工程与生态工程的本质区别及联系	56
复习思考题	59
第4章 生态工程与规划的基本理念和基本手法	60
4.1 规划的综合理念	61
4.2 规划的基本手法	64
4.3 规划的风险及安全防范	67
4.4 规划的组合方案与备选	68
复习思考题	70
第5章 生态工程与规划的步骤、过程及目标	71
5.1 规划设计的步骤	72
5.2 规划的分析过程	76
5.3 规划的目标确定	83
5.4 规划的总体规划和详细规划方案	85
复习思考题	90

第二篇 微观生态工程与规划

第6章 基因生态工程与规划	92
6.1 基因工程的历史、现状及应用领域	93
6.2 人类基因工程的发展阶段	97
6.3 “物态”基因工程的方法及过程	102
6.4 基因工程的规划要点及框架方案	105
复习思考题	112
第7章 发酵生态工程与规划	113
7.1 发酵工程的类型、现状及分析	115
7.2 “发酵”或“发霉”过程的要素及应用	116
7.3 发酵生态工程规划的手法及科学历程	121
7.4 发酵生态工程规划的理念、方法及途径	123
复习思考题	127
第8章 繁育生态工程与规划	128
8.1 繁育工程的目的、手段及策略	129
8.2 动植物繁育工程的方式、方法及途径	137
8.3 动植物繁育工程的生态理念、原则及途径	139
8.4 繁育生态工程的规划要点	143
复习思考题	144
第9章 养生生态工程与规划	145
9.1 养生生态工程的目的、手段及策略	146

9.2 养生工程的方式、方法及途径	150
9.3 养生工程的生态理念、原则	157
9.4 养生生态工程的规划要点及框架方案	159
复习思考题	161
第 10 章 医疗生态工程与规划	162
10.1 医疗生态工程目的、手段及策略	163
10.2 医疗生态工程的方式、方法及途径	166
10.3 医疗生态工程的生态理念、原则及策略	171
10.4 医疗生态工程的规划要点及框架方案	175
复习思考题	177
第三篇 宏观生态工程与规划	
第 11 章 水资源生态工程与规划	180
11.1 水资源生态工程目的、手段及构想	181
11.2 水资源生态工程的方式、方法及途径	184
11.3 水资源工程的生态理念、原则及策略	189
11.4 水资源生态工程的规划要点及框架方案	192
复习思考题	196
第 12 章 森林生态工程与规划	197
12.1 森林(林业)生态工程的目的、手段及构想	198
12.2 森林(林业)生态工程的方式、方法及途径	202
12.3 森林生态(碳中和)工程的生态理念、原则及策略	207
12.4 森林生态(碳中和)工程的规划要点及框架方案	210
复习思考题	216
第 13 章 农业生态工程与规划	217
13.1 传统农业基本特征	218
13.2 现代农业(工程)的基本特征、土地利用模式及技术构成	220
13.3 生态农业(工程)的生态理念、原则及策略	227
13.4 农业生态工程的规划要点及框架方案	231
复习思考题	236
第 14 章 工业生态工程与规划	237
14.1 工业(工程)类型、聚集效应及五次技术革命	238
14.2 现代工业(工程)的基本类型、“物态”工艺模式及生产力布局	242
14.3 现代工业(工程)的生态理念、无废工艺及循环经济策略	245
14.4 工业生态工程的规划要点及框架方案	249
复习思考题	253
第 15 章 城市生态工程与规划	254
15.1 城市生态系统的结构和功能	254

15.2 从田园城市、园林城市（海绵城市）到低碳城市	259
15.3 城市生态工程的生态理念、原则及策略.....	262
15.4 城市生态工程的规划要点及框架方案.....	265
复习思考题	268
主要参考文献	269
后记	274

绪 论

在人类走向第四代“生态文明”的新时代，“生态”工程包含着对“物态”工程的包容和超越。物理系统和生态系统是有巨大差别的，生态工程是建立在生态系统之上的工程，面对的是包括人类在内的已知的 150 万种生物在种内、种间和天人三层次生态关系的高效和谐，也是人类经济、社会和生态可持续发展的“工程”保证。

生态学是对生物（包括人类）在处理种内、种间和天人三层次生态关系中的生存机巧并加以应用的科学学科。人类从丛林中走出来，凭借大脑的进化成为了生物类群中最高智商的生物，建起了统治地球已知的 150 万种生物的“独裁”并私有性的“人间城堡”。

在“城堡”中，人类在近现代凭借“物态”（以物理理论和技术为先导，相对“生态”而言）科技“拆分”世界，背对 150 万种其他物种将这个地球用“产权界定”（私相授受）的方式“瓜分完毕”。虽然工业革命之后人类改造自然、认识自然的能力大大增加，但是，由此建立起来的“追求物质利益最大化”的“天下为私”的人类模式，使人类作为“单优种群”，内部包含以下三层次生态关系。

（1）种内冲突：个人、团体、企业、种族、国家层次的利益纷争、宗教派别、意识形态等，甚至敌对、冷战和热战；

（2）种间恶劣：背对 150 万种物种，把大型顶级动物玩弄于股掌之间，导致 r 对策要么种群灭绝，要么就成为恶性传染病的“恶魔”，与人类打起了“阵地战”，如艾滋病病毒、埃博拉病毒、禽流感病毒，或打起了“游击战”，如疟原虫、血吸虫。

（3）天人关系：从“听天由命”到“人定胜天”，过分夸大人类的“主观能动性”。

如果不是“物态”（工业）革命的冲击，五千年的中华文明中“生态”与“经济”“你中有我，我中有你”地缠绵，可能早已正式“联袂”粉墨登场。由于“蒸汽”动力的开始，人类找到了一条“极端飞跃”，同时也是“加速死亡”的“革新”之路。在经济利益的驱动之下，运用“物态”可以胁迫“生态”的“坚船利炮”方式，开创一个“物欲横流”、环境污染、经济危机、生态灾难的人类文明“污染”时代。

人类走进的是“孤寒众生，疾病缠绕，前景黯淡”的时代，因此，从“理念”和“工程”手段上修复种内、种间及天人三层次生态关系，实现对大自然的理性回归，生态理念的工程及规划学科任重道远。

生态的概念最通俗的理解是“生存生活的状态”。生态学的经典定义是“研究生物和环境及其相互关系的学科”。生存生活状态的最高境界是高效和谐。“无废无污”是高效和谐的必然结果和最直观、简单的标志，也是可持续发展的根本保证。

工程的概念是工艺与技术流程的最佳组合。工程是理论与方法、工艺与流程、材料与成品的最合理的转换。工程是物化了的、看得见摸得着的实施设施，也可以是经过精神演绎后

的无形观念并通过影响潜意识后得到十分具体的行为表达。

生态工程的概念是运用生态学原理进行的生态工艺与生态流程的最佳组合,也是生态理论与方法、工艺与流程、材料与成品的最合理的转换。

0.1 “生态”工程的“物态”起源

在这个“近现代(物态)文明”的世界里,“物理思维”是时代的主旋律,“生态”工程的“物态”起源并不是“不可理喻”的事情,“邯郸学步”的历程包含更多“追本溯源”“正本清源”。

“生态”工程是相对“物态”工程而言的。这是物理系统的构筑与生命系统的重建中的“物理”思维和“生态”思维理念上的重大区别。当然,“生态”工程中的生态理念对物理理念是包容和超越,而不是抛弃或对立。

生态学的理念和尺度是三个层次(种内、种间和天人)生态关系的高效和谐,建立在世界是由生命及生命系统组成的唯生主义的基础之上。物理(态)学的理念和尺度是“拆分”思维,在追求“物质利益最大化”的过程中创造了机械、机器及工业化的物质文明,建立在“世界是物质的,物质是在不断地运动”的唯物主义的基础之上。

“生态”工程与规划是超越并包容物理思维、物理安全的生态思维和生态安全的生态机制、生态机巧的工程学之系列工艺的表达。

0.1.1 国际生态工程的起源

1962年美国著名生态学家奥德姆(H. T. Odum)首先提出了生态工程(ecological engineering)的概念,创立了生态学与人类工程实践与应用的新领域及新学科——“生态工程学”,并用“物态”思维的“物理方式”把它定义为“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”。奥德姆认为“管理自然”就是“生态工程”,“是对传统工程的补充,是自然生态系统的一个侧面”。

20世纪80年代后,“生态”工程在欧洲及美国逐渐发展起来,并出现了多种认识与解释,生态工程技术也被相应提出,仍然是“物态或物理”思维的所谓“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”。

这显然是对生态系统“高效和谐”原理无知的“物理定义”,因为所谓“代价”“最小”“环境损害”这些都不是生态工程里“应有”的东西,生态工程是运用生态机巧原理解决“物理思维”产生的“拆分(对应还原)”、“断裂(对应驳接)”、“损害(对应自愈)”等问题的“生态”整合、拔高、连接、升华的生态理论之应用和实践的“旧机巧”和“新工艺”的组合。

生态工程起源于生态学的发展与应用,诞生、发展过程融入现代文明的主流“物理思维”是必然的、也是一个必需的过程,至今也不会排斥“数理化”方法在该类工程中的应用,“生态”的理念包容并超越“物态”思维,因为我们面对的是“有生命的开放、连续不断在运转的”生态系统。

0.1.2 国内生态工程的起源

在我国,生态工程的概念是由已故的生态学家、生态工程建设先驱马世骏院士在 1979 年首先倡导的。马世骏院士、王如松院士等在城市生态工程、农业生态工程等方面著述颇丰,引领了该领域的前期发展。

马世骏(1984)率先用“生态”学思维给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。”其目的是将生物群落内不同物种共生、物质与能量多级利用、环境自净和物质循环再生等原理与系统工程的优化方法相结合,实现资源多层次和循环利用。

正因为如此,在我国对生态系统的发展与生态工程的建设提出了“整体、协调、再生、良性循环”的理论。生态工程的基础除了以生态学原理为支柱以外,还吸收、渗透与综合了许多应用学科,如农、林、渔、养殖、加工、经济管理、环境工程等多种学科原理、技术与经验。

0.1.3 国内生态工程的发展

在这个“近现代(物态)文明”的时代里,“物理思维”创造了几乎所有的人类文明的奇迹,没有它就没有汽车、火车、飞机、机器、电灯、电话,以及大炮、战舰、原子弹和导弹、卫星和航天器。没有“物理思维”,又何来人类社会的“工程”或“系列工艺”的概念、理论和实践?

因此,“生态”工程的“物态(物理)”起步,“邯郸学步”的历程在时代的“主旋律”(“物态”思维)中起始,这不奇怪,这就是一个用“物理”思维方式“拆分”生命的时代。

就连生态学本身都是在用“物理、化学、数学”的方式“解读”,观察、实验、试验中数理化的方式方法贯穿始终,就生物学里程碑式的成就——DNA 双螺旋结构的发现者沃森与克里克(物理和化学出身)也是“用物理化学方法研究生物学”,创立的是“他山之石,可以攻玉”的成功范例(他俩共同获得 1962 年的诺贝尔生理学或医学奖)。

这并不妨碍属于“生态”类学科的生态工程与规划学学科在“物态”思维中起步,逐步“否定之否定、质量互变、对立统一”地“螺旋式”前进。

生态工程的目标就是在促进良性循环的前提下,充分发挥“生态”及“物态”的生产潜力,用“开放式闭合循环”的生态系统“内生机制”彻底地消除环境污染,达到经济、社会、生态协同的可持续发展。

0.2 生态工程的高效和谐原则

生态工程追求的是“无废无污、高效和谐”的可持续发展,甚至与“近现代(物态)文明”追求“投入产出”之“物质利益最大化”有根本的区别,而且,是在兼顾已知的 150 万种伴生物种平等基础上的“公平和效率”。

生态工程是从生态系统的结构、功能、演变、平衡的和谐思想出发,按照生态学、经济

学和工程学,甚至物理学、化学、数学等现代科学的原理,运用现代科学技术的各种“物态工艺”的成果,现代生态经济管理手段和专业技术操作经验、流程、监督机制等组装起来的,以期获得三层次生态关系上的“无废无污、高效和谐”的经济、社会、生态三大效益综合最优的现代人类的各种工程系统。

生态工程相对物态工程建设的良好模式必须遵守以下的一系列原则。

(1)“无废无污、高效和谐”的原则:这是马世俊、王如松等于1985年提出来的生态学最重要的原则和目标之一。生态工程学的本质就是建立无废无污、高效和谐、开放式闭合性的良性循环。“丛林中”的所有生物相互伴生达数十亿年,构建的是以食物链关系及“开放式闭合循环”为机制的“无废无污、高效和谐”的自然生态系统。人类从“丛林中”走出来以后,构建了自身的社会经济生态复合体系,同样可以用“开放式闭合循环”构建“高效和谐”。“无废无污”是生态系统或生态经济系统高效和谐地运转的标志、目标。因此,生态农业、生态工业、生态城市的建设及产业的“绿化”效果可以通过“无废无污”的生态工程及规划设计非常直观地表现出来。

(2)生态容量原则:生态系统作为生命的开放系统,在一定程度之内有自我调节能力,对污染有一定的自净能力和缓冲效果,这是生态系统的结构多样性和功能效益的具体体现。生态容量实际上是最大生态效益的数量表现。其存在原理告诉我们,人类的一切生产、生活活动在其容量之内,就能够在保持生态系统的高效、和谐的运转中达到“持续发展”、“生态与经济”的高度统一。反之就会产生生态系统恶化(病态),生态系统崩溃(死态)的恶性循环。因此,从研究生态容量资源利用、生态经济效果相互关系入手,研究生态经济系统的结构和功能,建立起“生态学思维”以代替简单机械思维的物态工程,有着重大意义。

(3)公平和效率的原则:“丛林中”的生物的生存要素分配,比较“公平”但缺乏“效率”。人类从“丛林中”走出来后,逐步以私有制提高了物质积累的整体效率,同时“公平”的问题就不断出现。从哲学的角度来看,“公平是相对的,而不公平却是绝对的”。世界上根本不存在绝对的公平,人类对自由、平等的美好愿望是可以理解的,但要把握住尺度。近两百年来,公平与效率问题一直是哲学家、经济学家、社会学家和法学家不断探索与争论的重大问题,尤其是在社会的政治、经济发生重大变化时,公平与效率的关系问题总是一再成为人们关注的焦点。生态工程及规划的公平和效率原则是“物种面前种种平等”。

此外,生态工程与规划还必须因地制宜,根据不同地区、不同的历史阶段、不同的时空制约条件、不同的发展态势的具体情况来确定相适应及对应的生态工程模式。生态系统是一个有生命的,开放、多因素均衡的复杂系统,在生态工程的建设中要有序地提高系统的物质流、能量流、信息流、价值流,甚至废料链的转换、连接和循环累积性,加强与系统外部循环连接和交换,提高生态工程内部结构的有序化、多样化,增加系统功能的产出、表达与效率。

在生态工程及规划的实践中,强化自然生态系统中适当的人类社会经济的劳动、资金、能源、技术密集相交叉的集约经营模式,达到人类社会、经济、生态复合系统“生态又经济”方式的,既有高的产出,又能促进系统内各组成成分的互补、镶嵌、竞争与共生的互利互惠地协调发展。

0.3 生态工程的“开放式闭合循环”原理

生态工程与规划最基本的原理是生态系统的“开放式闭合循环”：开放式指的是随时随地可以输入及输出，闭合指的是“废料与原料”的首尾相接、生态位镶嵌，而循环的结果必然是整个系统健康有序地、“无废无污，高效和谐”地可持续发展。

循环是大自然生态系统周而复始、首尾相接、无废无污、高效和谐地运转的一个非常重要的过程，也是生态工程与规划学中最重要基本原理和基本手法。以往的生态学教科书介绍生态系统的循环过程，经济学教科书介绍经济学循环过程（主要是资本循环），生态工程与规划学科应该认真地研究生态、经济及人类社会生态复合系统的“开放式闭合循环”的基本原理。

生态系统的物质循环包括生物地球化学循环（biogeochemical cycle）。生命系统的存在依赖于生态系统的物质循环和能量流动，二者密切相关，不可分割地构成一个统一的生态系统功能单位。能量流在生态系统之中沿食物链营养级向上一级营养单元的方向流动，在尺度较小的生态系统中流动是单方向的，所以小型生态系统（如城市、工厂、农场等）必须不断地由外界获取能量。在整个地球及宏观宇宙系统中，“能量既不能创生，也不会被消灭，只能从一种形式转换成为另一种形式（物理学能量守恒定律）”。

生态系统中的物质流动是循环的，各种有机物质经生产者积累、消费者传递，最终经过还原者分解成可被生产者吸收的形式，重返系统过程，进行再循环。

地球生态系统大尺度的循环主要有以下三大类。

（1）水循环（water cycle）：水是自然的驱使者，没有水的循环就没有生物地球化学循环，就没有生态系统的功能，生命就不能维持。

（2）气态循环（gaseous cycle）：各种物质的主要蓄库是大气和海洋，气态循环紧密地把大气和海洋联系起来，具有明显的全球性循环性质，以氧、二氧化碳、氮为代表，还包括水蒸气、氯、溴、氟等，都属于气态循环。

（3）沉积循环（sedimentary cycle）：沉积循环的主要蓄库是岩石圈和土壤圈，与大气无关。沉积物主要是通过岩石的风化作用和沉积物本身的分解作用，而转变成生态系统可利用的营养物质。沉积物转化为岩石是一个缓慢的物质移动过程。因此，这类循环是缓慢的、非气候性的、不显著的循环。以磷、硫、碘的循环为代表，还包括钙、钾、钠、镁、铁、锰、铜、硅等，其中磷循环最典型，它从岩石中释放出来，最终又沉积在大海中并转变为新的岩石。

可以根据以上三大类生物地球化学循环来抽象概括出其所有营养循环的模式。生物地球化学循环与能量流动是分不开的，二者相互依存，相互制约，营养物质进入生态系统，因光合作用而迅速进行循环，再经过还原者的作用进行再循环。

当能量流动经过食物链从一个营养级向另一个营养级运动时，营养物质也按同样的途径运动，所不同的是能量从生产者、消费者的身体中耗费，而营养物质却是在不同程度上进行再循环，返回到它们原来的化学状态。有些营养物质是包括在短期的循环之中，有些营养物

质暂时地储存在有机体内,有些则牢固地沉积下来或变成岩石。

所有的营养物质都以水为介质被带入生态系统,营养循环是与水的循环不可分割的。例如,土壤的淋溶、雨的渗透、微生物的还原、营养物质的输入输出等,整个营养循环的功能是离不开水的。水的循环又把陆地和水生生态系统连接起来,也就是把局部生态系统与地球生态系统结合起来。

按照生态系统的“物质开放式闭合循环”原理,建立起区域性或全球性的“废料和原料首尾相接”的物质循环的生态工程模式,把周而复始、“无废无污、高效和谐”的生态循环方式,通过生态工程与规划的“生态大循环、循环又经济”原理,达到种内、种间和天人三层次生态关系的持续境界。

0.4 生态工程的结构基础及功能表达

生态工程与物理工程在内涵和外延上都有极大的不同,要把生命系统的新陈代谢、吐故纳新、生长发育、自我繁殖及自我修复(自愈),以及“自动”等物理系统完全不具备的功能,通过因势利导的方式,通过结构上的“解构”与“优化”,取得功能上的完美及和谐。

结构是功能的基础,功能是结构的表达。

0.4.1 “生态”工程与“物态”工程的差异

生态工程是有生命的开放系统在生态系统层面上进行的“生态”工程,相对在物理系统层面上的“物态”工程,其中结构、功能、演变、平衡四大方面都存在着巨大的差异。

(1) 结构方面:生态工程最初的步骤是对相应的目的生态系统的结构进行“解构”,这是一项十分复杂、耗时的工作。与物理工程中的物理系统的“物态”结构完全不同的是:生态系统没有启动、暂停和终止三大“开关”。生态系统远在人类诞生之前的数十亿年就“启动”了,而且一直都没有“停下来”,系统的结构中隐藏有大量的“生命密码”,被系统中的细菌、病毒、真菌、低等植物、高等植物及各种动物和人类“随身携带”着,而且还在随着时间的推移发生不断的时空变化,不能按“暂停键”,更不可以像对“物理系统”(如计算机、机器、汽车)那样“停机”、“归零”甚至“格式化”。生态工程的结构永远掩盖在“黑箱”,或者是半透明的“灰箱”之中,完全透明的“物理系统”之“白箱”几乎是不可能的。

(2) 功能方面:结构是功能的基础,功能是结构的表达。生态工程对相应的目的生态系统的功能进行规划,建立在对结构的理解、解构和一定条件下的“重组”之中。与物理(态)工程所不同的是,生态系统作为生命系统,有新陈代谢、吐故纳新、生长发育、自我繁殖及自我修复(自愈),以及“自动”等物理系统完全不具备的功能。生态工程与规划必须注意“顺势而为、借题发挥”。

(3) 演变方面:物理系统自建立并运转开始,总是有一个“从新到旧”最后到“报废”的过程,电视机、汽车、冰箱等,使用期限过后就“报废”,不会“一变二,二生四”地持续“繁衍下去”。而生命系统的“演变”是完全不同的,鸡、鸭、猪、牛养了一段时间后,

幼仔长成了成年，并繁衍了一大批后代。所以生态工程与规划的对象不是物理系统那么简单，有自己的一些“生命”的特征，对城市生态系统、农业、渔业生态经济系统的相关规划要注意“春播一粒粟，秋收万担粮”的生态工程效果。

(4) 平衡方面：物理系统的设计、建造、运转需要均衡的地方虽然多，但大多在当下的系统内部；而生态工程与规划的均衡不仅仅在内部，还有外部；不仅仅当下，还有生物进化中的历史遗留和遗传密码；150 万种物种与人类在协同进化、食物链关系、竞争与共生、正反馈与负反馈、K 对策与 r 对策等千丝万缕的联系，要达到种内、种间和天人关系三层次的高效和谐是有自己学科独特的研究范畴、理论体系和应用技巧的。

0.4.2 现实中人类“生态”工程的“物态”圈层误区

同样是面对自然或人为构造的生态系统，或者是人类社会—经济—自然复合生态系统，“物理思维”中的“物态”工程与规划会把系统看成所谓“以人的行为为主导，自然环境为依托，资源流动为命脉，社会体制为经络”的半人工生态系统，拆分的所谓“生态”结构可以是以下 3 个主要的集合。

(1) 核心圈：人类社会，包括组织机构及管理、思想文化、科技教育和政策法令。物理思维之下把这些当成“核心部分”，还认为这是“生态核”。

(2) 内部环境圈：常具有一定的边界和空间位置，包括地理环境、生物环境和人工环境，被看成“内部介质”，还被称为“生态基”。

(3) 外部环境圈：包括物质、能量和信息及资金、人力等，还被称为“生态库”。

这种以人类为中心的所谓“生态工程”，其实是对“生态”的无知的“物理工程”而已。这种“解构”的方式方法必定带来的是人类与 150 万种伴生生物在三层次生态关系上的混乱，生态生产上的毁灭及“物态”生产上的一定程度的“强化”，而且是以牺牲生态系统“无废无污染、高效和谐”为代价的。

0.4.3 生态工程的三层次生态关系解构与功能重建

正确的生态工程与规划对目的生态系统的解构如下。

(1) 核心圈：人类及其伴生的已知的 150 万种生物物种，其中含有叶绿体的绿色植物、藻类、光合细菌是生产者，创造第一性生产力；动物是第二性生产者；人类是生态系统的消费者和经济系统的“物态生产”的生产者；微生物和腐生生物是还原者。生态思维之下这才是“核心部分”及“生态核”。

(2) 三层次生态关系圈：种内关系包括人与人的关系，种间关系包括与其他动植物、微生物之间的关系，以及人类与大自然之间的生态关系、物质和能量的交换，这才是生态系统的“内部介质”，或称为“生态基”。

(3) 生态效益及生态容量圈：包括生态系统中的物质流、能量流、信息流、价值流和“物态思维”下的资金、人力、物力等，以及“生态思维”下的生命系统的新陈代谢、生长发育、自我繁殖、自我修复及“永动机”式的自动机制或机巧，也可称为“生态库”。

如此，才能在“物种面前种种平等”的基础上，优化结构并追求“无废无污染、高效和谐”式的人类社会经济生态复合系统可持续发展。