第一章

生态工程导论

1.1 生态工程定义

“生态工程”这一术语的提出，是生态系统学说出现以后的事。“生态工程”(Ecological Engineering)也可以译成“生态设计”。早在20世纪50年代，我国生态学家马世骏就提出“生态工程”这一名词，并于1983年提出“模拟生态系统原理而建成的生产工艺体系即生态工程”。1984年他又给“生态工程”下了更为明确的定义：“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。”

1962年H.T.奥德姆（Odum）将“生态工程”定义为“由人类用少量的能源对环境进行的熟练操纵以控制那些主要是自然能源驱动的系统”。1983年，H.T.奥德姆（Odum）提出新生态系统设计工程的概念认为：“生态工程主要是自组织的应用系统领域，是对自然的管理，是同自然合作最好的术语。”

W.J.密奇(Mitsch)在《生态工程》(Ecological Engi-neering)一书中，将“生态工程”定义为“人类社会同自然环境合作进行的对双方都有利的设计”，“它是应用数量方法和基本的科学方法

需要全本请访问 www.ertongbook.com

对自然环境进行设计的工程；它也是以自我设计的生态系统作为原始工具的一种技术”（1989）。

沃尔曼（Uhlmann）认为生态技术是用最小费用和对环境最小损害的具有生态系统管理意义的应用技术。他认为生态技术与生态工程是同义语。

由于生态工程是一门新学科，发展历史较短，它的理论原理和基本概念还在逐步成熟之中。从以上学者提出的“生态工程”定义中可以看出它们之间侧重点还是有很大区别的。1993年W.J.密奇（Mitsch）将原来的生态工程定义修改为：“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且使其可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等一系列工程，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，以期达到生态恢复、生态更新、生物控制等目的。”

W.J.密奇（Mitsch）1989年和1993年给“生态工程”的两个定义充分说明，随着实践经验的增长，人们对生态工程的认识正在逐步深化。这正符合“人的正确思想只能从社会实践中来”，“真理的标准只能是社会实践”；“一个正确的认识往往需要经过由物质到精神，精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能够完成的原理”。

人们对生态工程的认识正符合了这种认识论的辩证法。不同学者的实践获得不完全相同的认识，但只要是从实践中总结出来的，都具有一定的真理性。我们只能取其合理的内核，进行新的综合，使其符合现阶段的认识，等到将来随着新实践的继续，认识进一步深化，再进行更深层次的综合。

生态工程可定义为：生态工程是人类应用自然生态系统原理，同自然环境合作而进行的对人类社会和自然环境双方都有利的复合生态系统设计，是建立在少花费、低能耗而更有效地利用自然

资源的基础上，增加社会财富，同时又是使人类社会与自然环境都可持续发展的生态恢复、生态更新、生态管理的技术。

1.2 生态工程与环境工程及生物工程的区别

生态工程与环境工程及生物工程的区别是明显的。生态工程与环境工程的组织水平都是生态系统水平，但生物工程是细胞水平；生态工程的基本原理是生态学和生态系统学，环境工程的基本原理是环境学，生物工程的基本原理是遗传学及细胞生物学；生态工程控制的内容是力学功能（水、气、太阳能及生物有机体），环境工程控制的主要是污染物（废气、废水、固体废物及噪声等），生物工程控制的是遗传密码（结构）；生态工程设计是人类帮助下生态系统的自我设计，而环境工程及生物工程则是人类的设计；生态工程的能量基础是太阳能，而环境工程和生物工程以化学能为基础；生态工程的任务是保持、管理和恢复生态系统，而

表 1-1 生态工程、环境工程和生物工程的区别

特 征	生态工程	环境工程	生物工程
组织水平	生态系统	环境系统	细 胞
理论原理	生态学	环境学	遗传学、细胞生物学
控制内容	力学功能（水、气、太阳能、生物）	废水、废气、废渣、噪声	遗传结构、密码
设 计	自我设计加人类设计	人类设计	人类设计
维持和发展费用	合理而便宜	较 贵	昂 贵
生物多样性	保 护	保 护	变 化

取材于 W. J. Mitsch《Ecological Engineering》，略加修改。

环境工程则是规划、设计、管理和整治环境系统，生物工程则是设计新的物种；生态工程维持和发展所需费用是合理而相对便宜的，而环境工程所需费用是昂贵的（表 1 - 1）。

1.3 生态工程研究的内容和目的

生态工程的研究内容涉及自然环境、自然资源、人口增长、社会生产等各个子系统，但它研究的不是人口学、资源学、环境学和部门生产的单个组分，而是涉及人口、资源、环境及产业之间相互作用的横向联系，及它们之间的整体效应。马世骏、王如松在《生态学报》 1984 年第 4 卷第 1 期《社会—经济一自然复合生态系统》一文中，论述了这个复合生态系统，指出：“社会、经济和自然是三个不同性质的系统，但其各自生存和发展都受其他系统结构、功能的制约，必须作为一个复合系统来考虑，我们称其为社会—经济一自然复合生态系统。”这显然是个高度综合的复杂巨系统。

生态系统的研究领域正是这个自然—社会一经济复合系统。生态工程的任务就是要对这个复合生态系统进行设计和管理。

生态工程的目的就是通过对复合生态系统的管理，使投入的能量和物质量最小，资源利用最合理，社会产品更丰富，风险最小而综合效益最高，达到对人类社会和自然环境双方都有利并能可持续发展的目的，解决工业化过程带来的产业发展与资源消耗、人口增长与环境退化、社会发展与生态变化的矛盾。重要的是通过生态工程的设计手段，把本来矛盾的事物转化为相互协调、彼此促进、不断向良性方向发展的事物，使人类社会、经济生产和生态环境都可持续发展。

1.4 生态工程研究的产生

1.4.1 生态问题的出现

自从煤、石油、天然气的广泛应用，电力和大机器工业的出现，生产效率猛增，人类同自然界一起创造出前所未有的新动力、新机械、新物种、新的物理化学和生物化学产品，尤其是农药、化肥的出现，使得生态系统中生产者、消费者和分解者之间的关系发生了极大的改变。在农业生态系统中，大量施用化肥和农药，既消灭了农田害虫，也杀死了农田的益虫益鸟，土壤层的细菌、真菌、放线菌也被消灭或受到极大抑制。这使自然生态系统中的自我调节功能遭受破坏，因此就必须越来越多地依靠人为投入的物质和能量，以维护农田生态系统的运转。尤其是杀虫剂的残留，已引起全球性的污染。已发现北极的驯鹿体内有汞的积聚，阿拉斯加海豹体内汞的含量已经超标，在南极的企鹅脂肪组织中有DDT，北极熊的体内也有多氯联苯。工业污染更为突出。资本主义工业革命是以牺牲环境为代价的。它的特征是工业越发展，环境越恶化。1950年至1980年间，由于大气中CO_2和其他“温室气体”浓度上升，地球上平均气温已上升1℃～2℃ 水体富营养化，农药污染，有机物、重金属等污染，已使江河湖泊水质日趋恶化，人和生物的生存环境越来越不适合于人类及生物的生存。伦敦烟雾事件，洛杉矶光化学烟雾事件，日本的水俣病及骨痛病等一系列公害事件，加上沙漠化、土地盐碱化、森林荒山化的发展，人们已认识到过去人和自然系统中，通过改造自然而建立的环境不是理想的环境，人们对长时间、大范围的自然规律缺乏认识，对长时间、大范围的自然控制还无能为力。这种对自然的改造，短

需要全本请访问 www.ertongbook.com

期内似乎取得了成功，但当遭到自然报复时，才感受到以前的失误而追悔莫及。这正如恩格斯所说：“可是我们不要过于得意我们对自然界的胜利。对于我们的每一次胜利，自然界都报复了我们。每一次的这种胜利，第一步我们确实达到预期的结果，但第二步和第三步却有了完全不同的、意想不到的结果，常常正好把第一个结果的意义又取消了。美索不达米亚、希腊、小亚细亚以及其他荒芜不毛之地，因为他们把森林砍完之后，水分的积聚和储存中心也不存在了。……因此我们必须时刻记住：我们统治自然界，决不像征服者统治异民族一样，——相反地，我们同我们的肉、血和头脑一起都是属于自然界，存在于自然界中，我们对自然的整个支配，仅仅是因为我们区别于其他一切动物，能够正确认识和运用自然规律而已”(恩格斯．自然辩证法．北京：人民出版社，1957，146）。实际上，早在 100 多年前，恩格斯已经看到了当时出现的并不太重也不普遍的生态问题，并正确地论述了人和自然的关系。

.4.2 第二次浪潮的思维对人类与自然关系的影响

第二次浪潮的思维是工业革命的产物，它强调分门别类地认识事物。这在工业化的初期，应该是一个进步过程。因为抛开总体联系，分门别类地对某些事物和现象进行专门研究，可以更深入地认识事物。但到后期，这种分散的、孤立的、只要部分不要整体的认识事物的方法，却带来了明显的片面性。资本主义工业化过程中那种专业化、好大狂都是第二次浪潮思维的表现。这正如恩格斯所说：“如果在细节上形而上学比希腊人要正确些，那么总的说来希腊人就比形而上学要正确些。”（恩格斯．自然辩证法．北京：人民出版社，1957，26）形而上学抛开总的联系来考察事物和过程，因而它就“以这些障碍堵塞了自己从了解整体到洞察普遍联系的道路”（马克思恩格斯选集第 3 卷．北京：人民出版

社，1972，468 页）。工业化带来的第二次浪潮思维正是“只见树木不见森林”，而过分轻信还原论（reduction）。

第二次浪潮的思维，在人和自然的关系上“改造论”占支配地位。在资本主义工业化阶段，由于科学技术的进步，人的主观能动作用有了前所未有的加强，在思想上产生一种错觉，以为“人定胜天”，人类可以为所欲为地对自然进行改造，把人的作用夸大到不适当的地位。正是在这种思维支配下，部门分割非常突出，治水只从水本身着手，把与水有关联的一切事物割裂开。在山上将树木砍光，在平原的河道上筑坝，这是典型的第二次浪潮的思维在起作用。至于那种只顾发展生产，不管环境好坏，把本来人和自然协调的关系转变为人和自然的对立，也是第二次浪潮的思想方法带来的后果。

1.4.3 先进的人们在觉醒

这是一个世界性的人类战胜自然最终受到自然报复的例子。P. H. 米勒（Miller）在 1939年研究确认了 DDT 惊人的杀虫力，美国很快生产出 DDT 并将其应用于卫生和农业系统。二次大战结束后，DDT 的使用量猛增。由于 DDT 与良种、化肥及农机等配合使用，美国农作物单产在二战期间就翻了一番。同时，广泛使用 DDT，消灭虱子、臭虫和蚊子等对人类有害的动物，使人类避免了霍乱、疟疾等流行病之害。显然，这是战胜自然的辉煌成果，P. H. 米勒（Miller）也因此而获得诺贝尔奖金。

就在人类为战胜自然而沾沾自喜的时候，一位颇具慧眼又勇于坚持真理的美国女海洋生态学家 R. 卡逊（Carson），于 1962 年发表了《寂静的春天》。经过三年多的调查研究，她揭露了施用 DDT 等农药会严重污染水体，在杀死害虫的同时也杀死害虫的天敌——鸟类及益虫，且通过食物链，这种有机化合物的毒性在人体内以数十上百倍的速度富集，使人致癌而死。这些本来已被证

实的事实，却触犯了美国化学工业集团的商业利益，因此R. 卡逊(Carson)招致了不应有的围攻和谩骂。但铁的事实证明真理掌握在R. 卡逊(Carson)手中。就在1967年～1972年争论还在继续的时候，人们发现了DDT等农药对环境、生物和对人毒害的证据越来越多。美国政府不得不于1969年成立世界上第一个“国家环境保护署”，于1972年底首先向全世界宣布美国完全禁止使用DDT

人类“战胜”自然，随后又尝到自然报复的恶果。越来越多的科学家认识到：当初授予DDT的发明人P. 米勒(Miller)诺贝尔奖是一个历史性错误，瑞典皇家科学院也对此项颁奖感到羞愧。R. 卡逊（Carson） 勇于坚持真理的行为，则受到世人钦羡。

在58个国家152位科学界知名人士参加的通讯委员会协助下，为1972年联合国第一次人类环境大会准备的非官方报告，由B. 沃德（Ward）及R. 杜博斯（Dubos）编写的《只有一个地球》出版了。该书从“人类生存战略”高度，指出“认识生物圈与技术圈相互依存”的重要性，指出生态和社会经济的相互依赖性；对于生态破坏问题，作者是从整体上来加以探讨的，将这种生态破坏与人口、资源、工艺技术发展不平衡及城市化困境联系起来，这就跳出了第二次浪潮思维的局限性，既看到部分又看到了整体。书中的警世箴言特别值得深思：“在这个太空中，只有一个地球在独自养育着全部生命体系。地球的整个体系由一个巨大的能量来赋予活力。这种能量通过最精密的调节供给了人类。尽管地球是不易控制的，捉摸不定的，也是难以预测的，但是它最大限度地滋养着、激发着和丰富着万物。这个地球难道不是我们人世间的宝贵家园吗？难道不值得我们挚爱吗？难道人类的全部才智、勇气和宽容不应当都倾注它来使它免于退化和破坏吗？我们难道不明白，只有这样人类自身才能继续生存下去吗？”

也是在1972年，另外一些先知先觉者，如P.H. 米多斯

（Meadows）等人，应用系统动力学动态仿真技术，将人口增长、可耕地资源、农业投资、工业投资及污染指数，绘制成包括100多个因子的因果反馈关系图，建立了人口、工业、污染、粮食和资源相互关系的世界模型，出版了《增长的极限》一书。书中提出："如果世界人口、工业化、污染、粮食生产以及资源消耗按现在的增长趋势不变，这个星球上的经济增长就会在今后一百年内某一个时候达到极限。"同时又指出："假如改革增长方式，处理好人口、工业化、粮食生产、资源消耗和污染之间的关系，增长的极限就不会到来。"这本是一个反馈信息，提醒人们正确处理人口、资源、工农业生产与环境污染之间的关系，以使增长的极限不会到来，却遇到严厉的批判。我国的某些学者将其称为"悲观论者"，西方有人称其为"末日论者"。J. L. 西蒙（Simon）写了另外一本书《The last resources》（最后的资源）中文版的书名译为"没有极限的增长"）认为人类的资源没有尽头，人类的生态环境日益好转，恶化只是工业化过程中的暂时现象，粮食在将来不会成问题，人口未来自然达到平衡。看来乐观派过于乐观。随着科学技术的进步，过去不是资源的可变成资源，在这个意义上说，资源是无限的；但在特定时段内，在一定的技术条件下资源又是有限的。粮食在将来不成为问题，但现在却有上千万人挨饿。因此，必须依靠科技合理利用自然资源，实施正确的发展战略，使社会经济与生态环境协调发展，前景才能是美好的。盲目乐观于事无补。

1978年，苏联的B. B. 索恰瓦（Сочава）在《地理系统学说导论》中提出"人类与自然共同创造"的思想，指出："所谓人类与自然共同创造，是指人类对于提高自然力的有益努力，和潜藏在自然界中一切有益的可能性的发挥……按整个任务来讲，人类与自然共同创造接近于人类对自然的改造。但是在前一种情况下指的是对问题的另一种态度和干预自然过程和秩序的根本不同的另

一种系统。某些种类的自然改造只有在人类与自然合作的基础上才有可能实现。”这就赋于自然改造以新的意义，把与自然对立转变为同自然合作。

1980年，英国的R. J. 本耐特(Bannett)和R. J. 乔利(Chorley)合著的《环境系统》(Enviromental Systems)中有专门一章——“系统的相互作用”，论述共生的现象(Symbiosis)，指出人类社会与自然系统的共生是人类对长时间大范围及大规模物质与能量调节无能为力时，才通过共生来对环境系统进行干预。共生可使人类社会与自然环境都互相有利，显然这比人与自然对立更正确些。

1980年，美国人 A. 托夫勒（Tofflar）在《第三次浪潮》一书中提出：“征服自然的战役，已经到了一个转折点，生物圈已不容许工业化再继续侵袭了。”并指出：“在过去十年间，由于地球生物圈发生了根本性的、潜在的危险变化，出现了一场世界范围内的环境保护运动。……它迫使我们去重新考虑人对自然界的依赖问题。结果非但没有使我们相信人们与大自然处于血淋淋的斗争之中，反而使我们产生一种新的观点，强调人与自然和睦相处，可以改变以往的对抗状况。”

1983年，荷兰的 A. P. A. 乌英克（Vink）也指出：“一般说来，同自然合作比同自然对立较为有利并常常更为有效。”

1.4.4 生态工程研究

二次大战以后，随着人口猛增，资源、能源消耗过快，能源短缺，环境污染日趋严重，人类生存环境由于自己的破坏而越来越不适合于人类生存。先进的人们要求养育人类生存、繁衍的地球免于退化和遭受破坏，在否定过去资本主义工业化过程中那种与自然对立的行为的同时，也在探求既能使社会经济得到发展，又使生态环境得以改善的新途径和新技术。“需要必将产生发明”。生

态工程就是在这种背景下应运而生，同时也是在系统论、控制论、信息论及电子计算技术，尤其是生态系统科学和生态系统生态学日益成熟的情况下产生的。在思想方法上，由以分析为主的第二次浪潮思维分门别类地研究事物转变为第三次浪潮的系统思维，由还原论改为整体论，在分析的基础上进行综合，既看到部分又注意整体的思维，也为生态工程奠定了思想基础。

实际上，我国古代的农业实践中，很早就有生态工程的典型事例，如桑基鱼塘、蔗基鱼塘、果基鱼塘等，现在也仍然是非常先进的生态工程的典型。在东北、华北的丘陵区，丘顶为针阔叶混交林，丘陵缓坡种植果树，台地上种旱田，河谷平地种水田，这种充分、合理地利用自然资源的设计，也是极好的生态工程的例子。再如华北、西北的枣粮间作，板栗与粮食间作，胡桃与粮食间作，南方的杉农间作、桐粮间作以及复种、套种等形式，都具有生态工程意义。

1954 年马世骏在防治蝗虫灾害时，从调节生态结构、控制蝗虫生长繁育的生境入手，实际上就是成功的生态工程模式。从 1962 年 H. T. 奥德姆（Odum）提出生态工程定义，1983 年马世骏根据我国实践提出生态工程定义，到 1989 年 W. J. 密奇（Mitsch）等人的《生态工程》一书的出版，在理论原理方面奠定了生态工程学的初步基础。尤其是马世骏、王如松在 1984 年《生态学报》上发表的《社会一经济一自然复合生态系统》一文，实际上明确了生态工程的设计对象，即是社会、经济、自然复合生态系统。这与西方过去一段时间生态工程设计的对象主要是自然生态系统，如森林、河流、湖泊等有明显的区别。马世骏、王如松的理论比西方的更实际，更实用，也更正确。

从 20世纪 80年代以后，我国在农业生态工程、林业生态工程、农林牧复合生态工程等方面都有飞速的发展，在城市生态工程及污染生态工程方面也有长足进步。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

此间，西方国家的生态工程也由研究阶段走向应用，如荷兰人的论文《从生态系统到生态设计》充分反映了向更实用的方向迈进，捷克对生态规划极为重视，法国和日本对城市生态有较好的研究，美国对自然恢复给予了更多的注意，如对森林生态恢复、湿地生态恢复和草地生态恢复等都做了许多实际工作。

目前，在世界范围内，生态工程已经引起农业、林业、环境保护、建筑设计、水产养殖、自然恢复、自然保护和生态旅游等部门的广泛注意，并在以上领域做出了应有的贡献。

当今世界，不仅要认识到生态平衡，更重要的是要有办法把被破坏的生态系统建设成更符合生物圈组织原则的新生态系统，这是生态工程的当务之急。

1.5 生态工程的应用前景

1.5.1 生态工程与可持续发展

可持续发展(Sustainable Development），是 1987 年以当时的挪威首相 G.H. 布伦特兰（Brundtland)为主席的世界环境与发展委员会（WCED）所著的《我们共同的未来》中提出的。其意义为“可持续发展是满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展”。它包括两个重要概念：需要的概念，尤其是世界上贫困人民的基本需要，应将此放在特别优先的地位来考虑；“限制”的概念，技术状况和社会组织对环境满足眼前和将来需要的能力施加的限制。《我们共同的未来》把环境与发展两个紧密相联的问题作为一个整体来看待，是既强调部分又重视整体的系统论观点。它与工业化带来的第二次浪潮的思维不同，不是只要发展而忽视环境，将环境与发展对立起来。人类社会经济的发展，只

能以生态环境和自然资源的持久稳定为基础，破坏了这种基础，人类社会经济的发展也就达到极限；而环境问题也只能在社会和经济可持续发展中求得解决。这正如 G.H. 布伦特兰（Brundtland）所说"：然而，'环境'是我们大家生活的地方；'发展'是在这个环境中为改善我们的命运，我们大家应做的事情，两者不可分割。"人类要继续生存下去，必须将发展与环境联系起来。其后不久，1992 年 6 月联合国在巴西里约热内卢召开了一次全球首脑会议——联合国环境与发展大会（UNCED），会上一致通过了与可持续发展有关的三个文件（《里约宣言》、《21 世纪议程》、《森林问题原则声明》），这标志着可持续发展的思想已成为世界各国首脑的共识。我国于 1994 年 3 月由环境科学出版社出版了《中国 21 世纪议程》，1994 年制定了《中国环境保护 21 世纪议程》，1995 年制定了《中国林业 21 世纪议程》，1996 年制定了《中国海洋 21 世纪议程》，1999 年发表了《中国 21 世纪议程、农业行动计划》。可以看出，我国已把可持续发展作为基本发展策略。可持续发展一是要发展，二是这一代人的发展不能危及后代人的发展。这就要解决经济及社会发展与生态环境的矛盾；而生态工程就是为解决这类矛盾而进行设计的技术。可见，可持续发展离不开生态工程，生态工程是社会经济及环境可持续发展的重要工具。

1.5.2 生态工程是积极地对生物多样性进行保护

生物多样性保护主要是对遗传多样性、物种多样性、群落多样性、生态系统多样性和景观类型多样性进行保护。由于生态工程是对生态系统进行设计，使其符合生物圈的组织原则，它超出了群落水平、种群水平，因而对物种多样性、遗传多样性、群落多样性都具有积极的保护意义。

1. 对珍稀濒危生物的保护

珍稀、濒危生物的灭绝主要与生态习性、生态环境的改变及

人类的干扰有关。应用生态系统原理必须使生物的生态习性和自然环境匹配，才能获得成功。如长白松［*Pinus sylvestris* L. var. *sylvestriformis* (Teken) Cheng et C. D. Chu］在中国自然保护地图集中被列为珍稀濒危植物。几乎以纯群落形式，生长于长白山北坡海拔 800 m 的火山砂质台地上；利用此种立地条件，人工栽植长白山松，以防止灭绝。北五味子也是珍稀濒危植物，它是林下、林缘的藤本植物，生长于水肥条件好的落叶阔叶林或针阔混交林内，通过生态工程恢复多层林相的过程中，可就地保护或迁地保护。中国林蛙（*Rarachensinensis*）是三类保护动物，其输卵管即田鸡油是高级营养补品，由于过度滥捕，其分布区已大为缩小。但林蛙夏季必须在茂密的针阔混交林下生活，在 1 km 的范围内必须有经常流水的水面，必须有厚的枯枝落叶层和丰富的昆虫；冬季必须有越冬的水面。通过生态工程给林蛙创造这些必要的生态条件，人工养殖林蛙是不困难的，只要建造合适的产卵孵化池、变态池，有计划地选择放养场及建造越冬池，满足林蛙生活、繁育生态条件，完全可防止林蛙的灭绝。

2. 生态工程对重要生态系统的恢复和重建的作用

目前，温带湿润地区与大气候相适应的地带性植被——红松针阔叶混交林，由于过量采伐、采育失调，使原始的红松针阔叶混交林所剩无几。但目前长白山地的大气候条件仍然适合于红松针阔叶混交林的生长。吉林省蛟河县海拔 1200 m 老爷岭山地的红松针叶阔叶混交林，日本侵略时期曾被择伐。由于山势陡峻，人为干扰较少，经过 50 多年的自然恢复，目前已恢复到原始的红松针阔叶混交林的面貌，红松的胸径一般都在 40 cm 以上，柞树（*Quercus mongolica*）、椴树（*Tilia amurensis*）等胸径多超过 50 cm。这说明目前的长白山地，其整体自然环境完全适合于红松针阔混交林的生长。红松阔叶混交林几近灭绝的现象，完全是人为干扰造成的。这就给人们提供一个机遇，那就是将有红松母树的

次生林封闭起来，绝对禁止采伐，令其自然恢复，完全可以恢复到红松针阔叶混交林的原始面貌。再就是通过生态工程，重建红松针阔叶混交林。在立地条件较好的次生阔叶林中栽针保阔：栽植大龄的红松，使其变成母树，以便实生苗天然繁殖；保留优良的阔叶树种，有目的、有计划地就地保护或迁地移植珍稀、濒危植物，如东北延胡索（*Corydalis ambigua*）、角瓣全叶延胡索（*C. repens*）、山参（*Panax ginseng*）、北五味子（*Schizandra chinensis*）等药用植物，重建红松针阔叶混交林，以恢复地带性的生态系统。

3. 生态工程与植物群落多样性

绿色植物是生态系统中的第一性生产者，是生态系统中物质循环与能量交换的枢纽。因此必须通过绿色植物的水平结构与垂直结构的改变来完善系统的供给功能、抵制功能、保存功能和排出功能，以便提高大气降水的利用率及太阳能的光合效率，提高系统的生产力，生产更多的社会财富，又保持可持续发展的良好自然环境。这就必须按正常立地（Normal site）的位置，按适应自然的原则，栽针保阔，恢复其地带性的红松针阔叶混交林；在近正常立地上，可建立油松针阔叶混交林、樟子松针阔叶混交林、落叶松针阔叶混交林等，通过植物群落的多样性，才能保持种群和遗传基因的多样性；同时通过植物群落的多样性，保持动物多样性。当然从生态工程的角度，更要保持自然生态系统的多样性，以便既从中获得更多的物质财富，又能可持续发展。

1.5.3 生态工程对农林牧业建设的作用

在世界范围内，农业经过农业机械的使用、玉米杂交种的出现、化肥农药的大量生产以及现代农业技术的推广，使农业走上常规现代化的道路。但也带来了一些新的挑战：第一，由于高投入，造成农业生产成本迅速上升；第二，高投入反而使经济效益

及报酬呈递减趋势；第三，大量使用化肥引起地下水中硝酸盐含量普遍超标；第四，使用剧毒农药消灭害虫的同时，也杀死了害虫的天敌——益虫与益鸟，并通过食物链使人类中毒。同时，也破坏了土壤中的微生物活性和结构。严酷的现实充分证明了现在走的常规农业现代化的道路是一条不可持续发展的道路，这无论在发达国家还是发展中国家都是一条行不通的道路。

农业的可持续发展，必须走生态农业之路。叶谦吉在《生态农业——农业的未来》一书中，把生态农业定义为“从系统思想出发，按照生态学原理，经济学原理和生态经济原理，运用现代科学技术成果和现代管理手段以及传统农业的有效经验建立起来，以期获得较高的经济效益、生态效益和社会效益的现代化农业发展模式。简单地说，就是遵循生态经济学规律，进行经营和管理的集约化农业体系”。

生态农业当然不是自发的，生态工程就是要通过对生态农业的设计，推广试点、示范，建立起实体模型，以证明：第一，充分利用自然力以减少资金投入；第二，随着农业生态结构的调整，农业环境得到改善，报酬递增；第三，农作物产量不比常规现代化农业低；第四，农业产品的质量是优质的，对人类是安全的。

生态工程在林业上的应用较晚，但有着非常广阔的前景。

目前，对森林不合理的采伐，每年以 800 万 hm^2～2000 万 hm^2 的速度使森林面积减小，尤其是俄罗斯、加拿大的亚寒带森林面积在急剧减小；世界范围内热带、亚热带的森林也以惊人的速度在退化。更为严重的是人类对森林砍伐后，有的不加培植变成次生林；有的人工造林，营造的多是单层林，如营造的纯落叶松林、马尾松林、湿地松林、油杉林、杨树林等。由于种群单一、对不同层次的透射光利用很不充分，对水分保持能力也差，对热量和土壤的利用能力更低；还由于种群单一，对病虫灾害的抗性极差，一旦遭受干扰，就缺乏复原能力。应用生态工程方法造林就

是仿效天然森林生态系统，营造多层次的森林，以便最大限度地利用光、热、水、土资源。

1.5.4 生态工程与城市生态建设

当今的世界，有 40% 以上的人口住在城市，发达国家的城市人口有的已达到 80%。人口高度密集于城市，给城市带来了交通拥挤、环境污染、住房紧张、供应不足等一系列人与生活环境间不协调的问题。其实，目前全球的人口、资源、环境、粮食及工业化问题，也是人和周围环境的关系问题，这些问题是第二次浪潮思维影响下，各产业部门之间缺乏横向联系的结果，如供水、供电、供气、交通、城市建筑、环境保护都是各自为政，这就常常出现单个部门的决策十分合理，却给整个城市系统带来许多矛盾的现象。其解决的方法又是“头痛医头，脚痛医脚”，因而使生产与生活、人口与资源、近期与长远、发展与环境、城市与郊区之间的矛盾越演越烈。运用生态工程去解决城市问题，就是把城市作为社会自然经济复合生态系统，以自然生态系统原理为指导，运用系统科学方法，从整体上解决人口与资源、工业化与环境保护、生产与生活、近期与长远、城市与郊区的多种矛盾，使其互相有利、协调发展。

需要全本请访问 www.ertongbook.com