

专题 5 生态工程

宇航员从太空遥望地球，由蓝色的海洋和绿色的陆地构成的景观美丽绝伦，但近看，她却已伤痕累累。干旱而龟裂的土地或浊浪滔天的洪水，还有酸雨、水土流失、沙尘暴、核废料辐射……不断恶化的生态环境，正在对人类的生存和发展构成严重的威胁。地球需要我们的细心呵护，需要我们运用生态工程对遭到破坏的生态环境进行修复和重建，通过发展“环境友好的技术”（Environmental-friendly Technology）来重建人类和地球母亲的良好关系，爱护我们共同的家园。



生态工程是指人类应用生态学和系统学等学科的基本原理和方法，通过系统设计、调控和技术组装，对已被破坏的生态环境进行修复、重建，对造成环境污染和破坏的传统生产方式进行改善，并提高生态系统的生产力，从而促进人类社会和自然环境的和谐发展。



科技探索之路

20世纪60年代以来,全球经济进入快速增长阶段。经济的迅猛发展、技术的革新使人们的生活水平大大提高,但其负面影响也越来越严重。在发展程度不同的国家,这类影响的表现形式有很大不同。在发达国家,主要表现为:工业化和高度集约化的农业经营所带来的种种环境污染和过量耗费不可更新资源(如石油等)问题;而在发展中国家则表现为:人口的快速增长、资源的过度开发、损毁和低效利用,以及由此而引起的环境污染问题。这似乎形成了一个发展悖论:即经济的发展需要技术进步,但技术的进步又往往带来严重的环境污染和资源匮乏,反过来威胁到人类社会的发展。

传统的解决问题的思维方式是就事论事,期望通过开发和应用若干单一的环境改造技术,快速解决遇到的每一个环境污染问题。但这种“割裂式思维”的结果,往往仅是污染物在不同地区间的转移,不能彻底解决问题。如图所示,通过建设更高的烟囱,当地的污染可能减少了,但转移出去的废气却造成了其他地方更大范围的污染。发达国家向发展中国家转移多种废弃物的事例层出不穷,这种看似“进步”的损人利己行为,正受到越来越多的指责。美国等国家曾提出实现污染物“零排放”的对策,但由于各种原因,迄今也未能做到。一些发达国家的学者还提出,通过“限



制生产、限制发展”的途径来减少污染的主张,也是不可取的。因为现在全球性环境污染在很大程度上是由发达国家造成的,而限制生产就意味着部分剥夺了发展中国家经济发展的权利,让发展中国家负担全球污染的成本是极不公平的。那么,到底应该怎么办呢?

生态工程的兴起

答案只有一个:只有对发展的含意有了全面的理解,坚持可持续发展,才能从根本上解决环境污染问题。1987年,以挪威前首相布伦特兰夫人为主席的联合国环境与发展委员会(WCED)在给联合

国的报告《我们共同的未来》中,提出了“可持续发展”的战略思想。即经济发展不仅要满足当代人的需要,还要不危害后代人的发展能力(Sustainable development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.);生态利益应和社会利益与经济的增长协同考虑。在这种形势下,旨在解决环境与经济发展协调问题的一门新学科——生态工程得到了迅速的发展。目前,生态工程已在资源管理、环境保护、生态治理和建设、城市发展等方面得到了广泛的应用,并发挥着越来越重要的作用。

OUR COMMON FUTURE

THE WORLD COMMISSION
ON ENVIRONMENT
AND DEVELOPMENT

结合左图漫画,想想你家乡附近有没有类似的转移污染的行为?

5.1 生态工程的基本原理

生态工程建设的目的就是遵循自然界物质循环的规律，充分发挥资源的生产潜力，防止环境污染，达到经济效益和生态效益的同步发展。与传统的工程相比，生态工程是一类少消耗、多效益、可持续的工程体系。

关注生态工程建设

为什么要进行生态工程建设呢？让我们首先来分析传统经济模式带来的一些问题。



资料分析

资料 1

1998年夏季，长江流域经历了自1954年以来的最大洪灾。加上其他地区水灾，1998年全国受灾人数上亿，近500万所房屋倒塌，2000多万公顷的土地被淹，直接经济损失达1600多亿元人民币。

是什么原因导致长江洪水泛滥？一些调查数据提供了答案的线索：长江两岸大约有4亿人口居住，工农业生产及生活需要大量的木材，导致对森林的过量采伐；人多地少的严峻局面，导致大量林地开垦成农田，结果使长江上游森林

覆盖率从上世纪50年代中期的22%，减少到90年代的4.4%。森林的砍伐导致长江每年因水土流失而带入的土壤达 $24 \times 10^8 \text{ t}$ ，年复一年的泥沙淤积，使部分河床高出地面，成为继黄河之后的又一条“悬河”，其浑黄程度有时甚至可以和黄河相“媲美”；另一方面，长江中游有重大蓄洪作用的湖泊，也因为人为的围湖造田在迅速萎缩，例如，洞庭湖水域面积，从1949年的4350 km²缩减到2145 km²，江汉平原的湖泊也从10000多个减少到300个左右。



被洪水淹没的大地



砍伐森林——绿色的流逝

讨论

1. 导致1998年长江洪水泛滥的主要原因是什么？
2. 洪灾的发生反映出经济发展模式存在什么问题？

资料2

我国是农业大国,人均土地、水等资源占有量远低于世界平均水平。虽然我国用占世界10%的耕地养活了占世界21%的人口,但由于受到西方“石油农业”模式的影响,加上人口压力以及缺乏生态环境意识,所造成的资源破坏和农业环境污染,已经对社会的可持续发展造成了很大障碍。仅以化肥用量为例,2000年,全国耕地面积约为 10^8 hm^2 ,平均化肥施用量是 318.8 kg/hm^2 ,其中仅山东、河南和江苏三省的平均用量就达 564.8 kg/hm^2 ,占全国总用量的30%左右。过量施用农药和化肥,会由于相当一部分不能被作物充分利用,而通过各种途径对土壤、水体和食物造成污染。又如,现代工厂化的饲养方法,使得畜、禽的排泄物,往往不能及时地、按照规定的土地负荷量返回田间,从而造成存放地的污染或者污水所流入水域的富营养化。

小知识

“石油农业”是指大量使用化肥、农药、机械的农业生产方式。由于需要大量的石油、煤、天然气等作为原料或动力而得名。

讨论

1. 你对“石油农业”是如何理解的?
2. 你能举出一些农业生产活动对人体健康以及环境造成危害的实例吗?
3. 如何理解“污染物是放错地方的资源”这句话?
4. “石油农业”的生产模式应当怎样改进?

生态经济

|| 吕建刚 著 || 吕建刚 著 || 吕建刚 著 ||



有利于地球的经济构想
Building an Economy for the Earth

传统经济模式正在毁坏水、大气、土壤和生物资源,消耗地球赠给我们的自然资本。为了实现可持续发展,经济发展必须符合生态学规律,改变“人类能征服自然”的错误观念,走生态经济之路。生态经济主要是通过实行“循环经济”的原则,使一个系统产出的污染物,能够成为本系统或者另一个系统的生产原料,从而实现废弃物的资源化,而实现循环经济最重要的手段之一就是生态工程。

美国著名经济学家L. R. 布朗在其新著《生态经济》中说:“经济赤字是我们彼此之间的借贷,而生态赤字却是我们透支于子孙后代”(Economic deficits are what we borrow from each other;

ecological deficits are what we take from future generations.); “生态学家与经济学家之间的关系,应当犹如建筑师与制造商之间的关系,理应由生态学家给经济发展提供蓝图……经济学家和生态学家携起手来就可以构建出一种可持续发展的经济——生态经济。”

生态工程所遵循的基本原理

生态工程是人类学习自然生态系统“智慧”的结晶,是生态学、工程学、系统学、经济学等学科交叉而产生的新兴学科。它遵循的基本原理如下。

物质循环再生原理

地球以有限的空间和资源,长久维持着众多生物的生、繁衍和发展,奥秘就在于物质能够在各类生态系统中,进行区域小循环和全球地质大循环,循环往复,分层分级利用,从而达到取之不尽、用之不竭的效果。而没有物质循环的系统,就会产生废弃物,造成环境污染,并最终影响到系统的稳定和发展。

“无废弃物农业”是我国古代传统农业的辉煌成就之一,也是生态工程最早和最生动的一种模式(图5-1)。要知道,土壤的肥力是一切农业生产特别是种植业的基础,当今大多数国家的土壤肥力,都严重地依赖于化学肥料,而在古代是根本没有化肥投入的。那么,我们的祖先靠什么维持了土壤肥力几千年,使它没有被所供养的亿万民众所耗竭呢?这个问题的答案被一位美国土壤学家在1910年前后找到了。

他通过对当时中国农业的实地考察,写成《四千年的农民》一书。他认为其中的诀窍在于中国农民几千年来实施的是一种“无废弃物农业”,即通过积极种植能够固氮的豆科作物,以及收集一切可能的有机物质,包括人畜粪便、枯枝落叶、残羹剩饭、河泥(图5-2)、炕土、老墙土以及农产品加工过程中的废弃物等,采用堆肥和沤肥等多种方式,把它们转变为有机肥料,施用到农田中,改善了土壤结构;培育了土壤微生物;实现了土壤养分如氮、磷、钾及微量元素的循环利用。

小知识

L. R. 布朗说,生态经济就是“能够满足我们的需求而又不会危及子孙后代满足其需要”的经济。要做到这一点,我们的经济一定要遵循生态学的基本原理,如果违背这个原理,就一定会由盛转衰,终致崩溃。

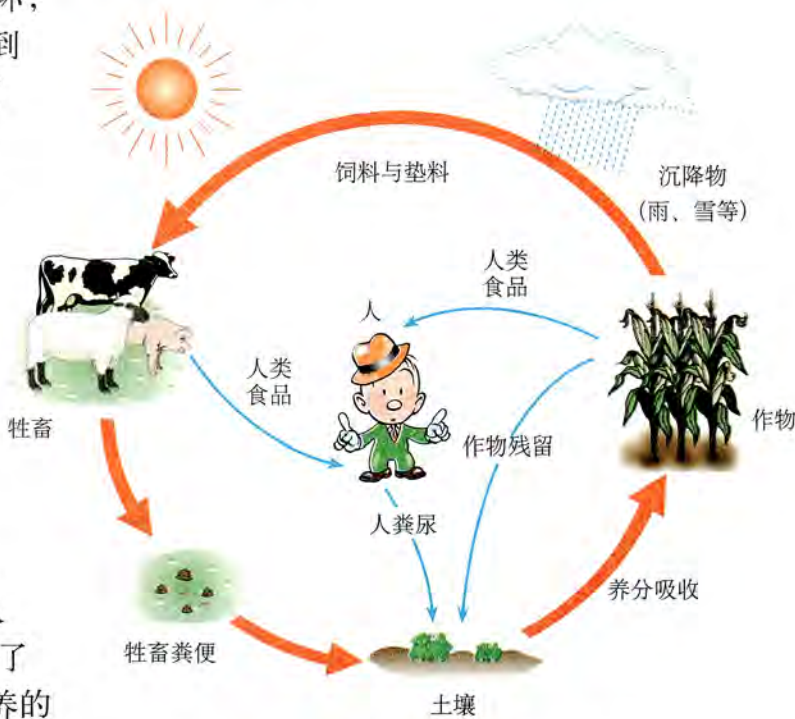


图5-1 “无废弃物农业”物质和能量流动图



图5-2 近代中国南方的农民在挖河泥作肥料(1909年摄)

物种多样性原理

一般而言，物种繁多而复杂的生态系统具有较高的抵抗力稳定性。农业和林业生产为追求最大产量，常常忽略生物多样性而连年种植单一品种，这往往会造成病虫害增加，环境恶化。

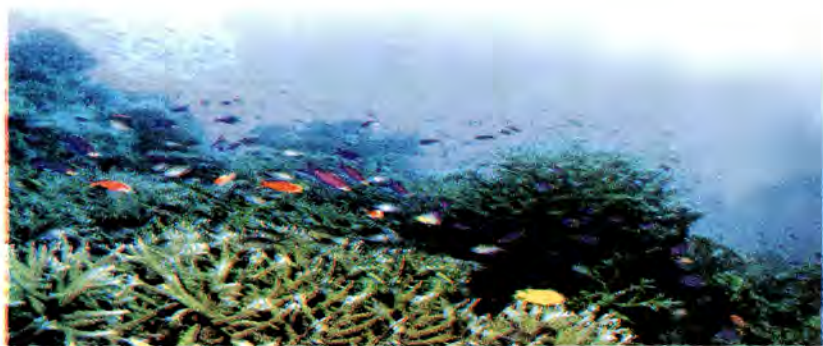


资料分析

我国“三北防护林”，虽然取得了巨大的生态和经济效益，但由于没有完全按照自然生态规律办事，也产生了不少问题。例如，在辽宁西部的章古台地区，最初进行林带建设时，单一种植了大片的樟子松林，由于没有一条昆虫与其天敌相生相克的食物链，使得偶然滋生的松毛虫肆虐一时，很多地方的樟子松因此奄奄一息，甚至成为鸟兽了无踪影的“不毛之地”。同样的原因，前几年仅一种小小的杨树天牛就将宁夏、内蒙古等地的几十亿株杨树毁于一旦。



遭虫害而死的樟子松



珊瑚礁区生物多样性非常高

又如，由珊瑚虫和某些藻类共生组成的珊瑚礁区，生物多样性非常高。在澳洲的大堡礁内，仅目前记录的鱼类就有约1 100种，还有超过300种的造礁珊瑚，以及无数已被命名或尚待发现的海洋无脊椎动物和藻类。不同生物在珊瑚礁

区占据不同的位置，它们通过食物链关系互相依存，使得珊瑚礁能够在养分稀少的深海中，保持着很高的生物多样性。

讨论

1. 为什么樟子松林的松毛虫会肆虐，几十亿株杨树会毁于一旦？而珊瑚礁区却能够在养分稀少的深海中，保持着很高的生物多样性？
2. 从上面正面和反面的实例，你能得出怎样的结论？你认为生物多样性的破坏有人为因素吗？

生物多样性程度高,可以为各类生物的生存提供多种机会和条件。众多的生物通过食物链关系互相依存,就可以在有限的资源条件下,产生或容纳更多的生物量,提高系统生产力。即使某个物种由于某种原因而死亡,也会很快有其他物种占据它原来的生态位置,从而避免了系统结构或功能的失衡。

协调与平衡原理

在进行生态工程建设时,生物与环境的协调与平衡也是需要考虑的问题之一。



资料分析

江苏、上海和浙江三省市交界的太湖养育了江浙百万生灵,号称“包孕吴越”。近年来,由于周边城市、工业和农田的排水中氮、磷的浓度较高,促使太湖水体中水葫芦和藻类疯长。它们不但耗竭了水中溶解的氧,而且植物体死亡后,分解过程中产生的大量生物性毒素,给水生生态系统造成极大的危害,使水体不再适宜鱼虾等生物的生活,甚至成为“死水体”,并影响到人类的健康。



水葫芦泛滥对生态系统造成影响



近处为衰败的杨树,远处为繁茂的当地树种

又如,我国西北一些地区年降雨量小于450 mm,是只适宜种植灌木和草的地区,但却被硬性规定种植属于乔木的杨树,以致到处都是“杨家将”。生态的不适应使许多地方的杨树长成半死不活的“小老头”状,远不如当地树种那样有较高的生态适应性,结果防护林成了残败的“灰色长城”。

讨论

“西部大开发”是国家为振兴西部而提出的宏观决策,其中很重要的一项内容就是生态工程建设。从协调与平衡原理出发,想一想,在我国西北地区进行防护林建设时,应选择哪些树种?如果在该地区发展畜牧养殖业,你认为应该注意什么问题?

处理好生物与环境的协调与平衡，需要考虑环境承载力。环境承载力（又称环境容纳量）是指某种环境所能养活的生物种群的最大数量。如果生物的数量超过了环境承载力的限度，就会引起系统的失衡和破坏。你能举出当地的实例进行说明吗？

整体性原理

自然生态系统是通过生物与环境、生物与生物之间的协同进化而形成的一个不可分割的有机整体。人类也处在一个社会—经济—自然复合而成的巨大系统中。进行生态工程建设时，不但要考虑到自然生态系统的规律，更重要的是，还要考虑到经济和社会等系统的影响力（图 5-3）。例如，在进行林业工程建设时，一方面要号召农民种树，另一方面一定要考虑贫困地区农民的生活问题，如粮食、烧柴以及收入等问题。因为往往是以上因素导致了农民对森林、灌丛的过量砍伐。如果农民的生计得不到保证，随时会发生“前面造林，后面砍林”的现象。因此，只有把生态与经济结合起来，才能从根本上达到造林和护林的目的。

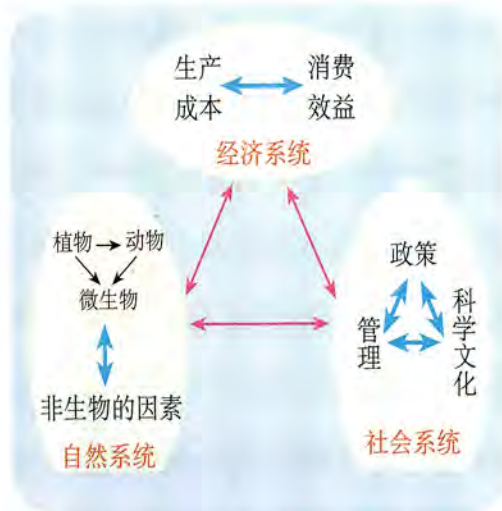


图 5-3 自然—社会—经济复合系统

除此之外，社会习惯、法律制度等也都对生态工程建设有着重要影响。建立在对系统成分的性质及相互关系充分了解基础之上的整体理论，是解决生态环境问题的必要基础。只有应用整体性原理，才能统一协调当前与长远、局部与整体、开发与环境建设之间的关系，保障生态系统的平衡和稳定。

系统学和工程学原理

系统的结构决定功能原理 生态工程需要考虑系统内部不同组分之间的结构，通过改变和优化结构，达到改善系统功能的目的。我们可以把系统的结构比作计算机网络。

在计算机网络中，系统的结构是如何决定功能的呢？



图 5-4 三种计算机网络结构示意图

在计算机功能和台数相同的条件下，如果采用分布式结构，即各计算机均和两个或两个以上的计算机相联（图 5-4，右），工作的可靠性要比采用集中式和环式结构（图 5-4，左，中）的可靠性高。因为在这种结构中，一般局部故障，不至于造成整个网络的瘫痪，而很多生态系统也存在着类似的现象。在生态工程建设中，需要利用这个原理来改善和优化系统的结构，从而达到功能改善的效果。例如，我国南方水网地区的桑基鱼塘模式，就是把很多单个生产系统通过优化组合，有

的瘫痪，而很多生态系统也存在着类似的现象。在生态工程建设中，需要利用这个原理来改善和优化系统的结构，从而达到功能改善的效果。例如，我国南方水网地区的桑基鱼塘模式，就是把很多单个生产系统通过优化组合，有

机地整合在一起，成为一个新的高效生态系统，大大提高了系统生产力。这种模式几百年以来，在我国的太湖和珠江三角洲地区，长期流行，造就了发达的农村经济，太湖丝绸名扬世界，不能说与之没有关系。

系统整体性原理 系统各组分之间要有适当的比例关系，只有这样才能顺利完成能量、物质、信息等的转换和流通，并且实现总体功能大于各部分之和的效果，即“1+1>2”。例如，珊瑚礁之所以能够保持很高的系统生产力，得益于珊瑚虫和藻类组成的高效的植物—动物营养循环。通常情况下，失去了共生藻类的珊瑚虫会因为死亡而导致珊瑚礁逐渐“白化”，失去其鲜艳的色彩，那里的生物多样性也将锐减，从而造成系统的崩溃。

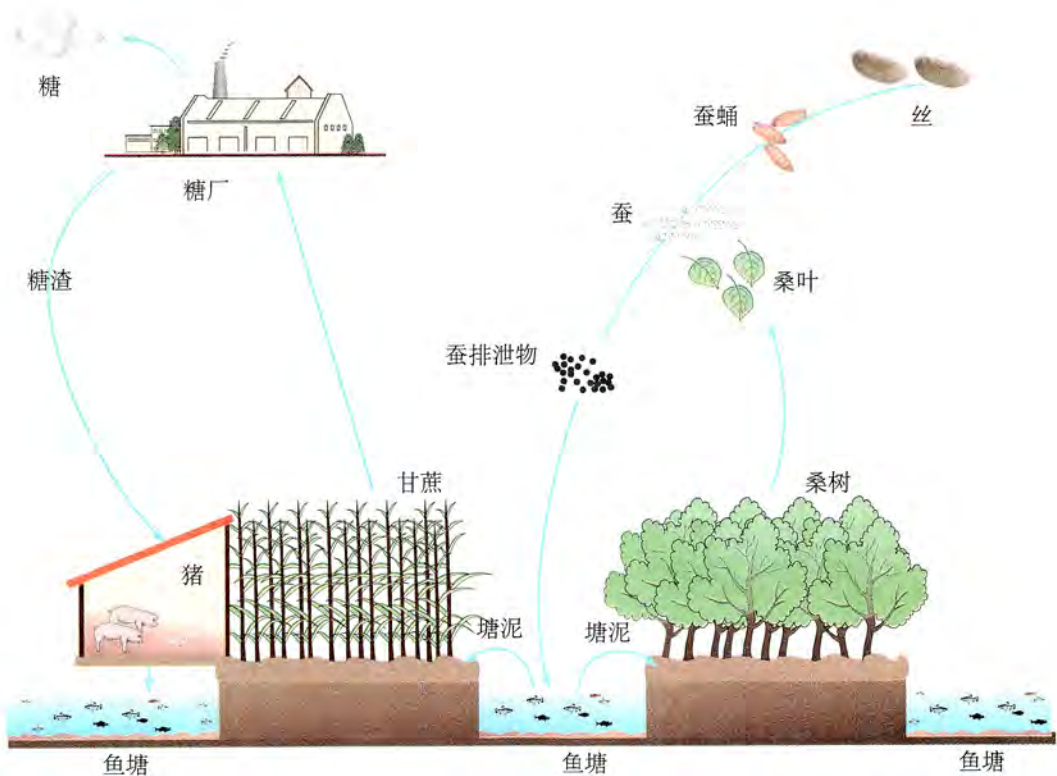
你能举出系统整体功能大于部分之和的例子吗？



思考与探究

- 1. 举例说出发生在你身边的物质循环利用形式，并阐明物质循环利用的优点。
- 2. 通过询问家长或调查的方式，分析你所熟悉的环境（如田间、坡地、小树林、公园等）的生物多样性增减情况及主要原因。

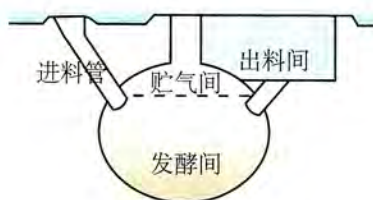
- 3. 桑基鱼塘分布在我国长江三角洲、珠江三角洲一带的水乡，是一种典型的水陆物质和能量交换型生态工程（如下图）。试分析桑基鱼塘的物质和能量流动途径。



水陆交换系统——桑（蔗、蕉）基鱼塘模式



前景广阔的沼气工程



沼气结构简图



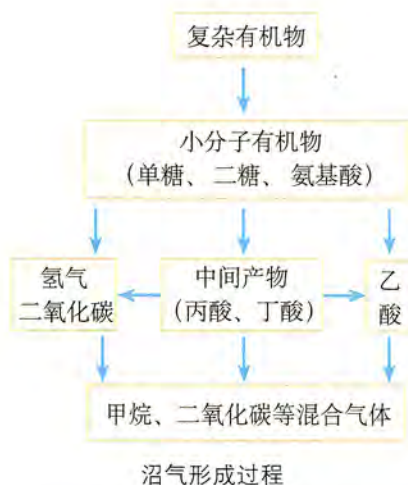
大型沼气池外观（北京大兴区留民营村）

沼气是利用人畜粪便等物质,经过一系列复杂的厌氧发酵过程,产生的富含甲烷气体的燃料。发展沼气不仅可以有效地解决农村的燃料问题,还为饲料、肥料开辟新的来源,对节省林木和保护林草植被也具有重要的意义。沼气工程在我国农村的大面积推广是在20世纪60年代以后,尤其是近20年以来的事情。

在我国农村,70%的农户缺少燃料、饲料、肥料,特别是山区更是如此。由于上述“三料”都依赖于有限的作物秸秆、谷壳、麸皮等农副产品和薪柴林等生物质^①,迫使农民不断强化对林灌草地的滥伐滥采,结果导致了严重的水土流失,对生态环境造成了很大破坏。例如,我国黄河流域,历史上曾是草原、森林繁茂之地,但由于千百年来过度砍伐,不当的农耕(坡地开垦)和放牧,才造成了今日千沟万壑的状况,使之成为我国水土流失最严重的地区之一。

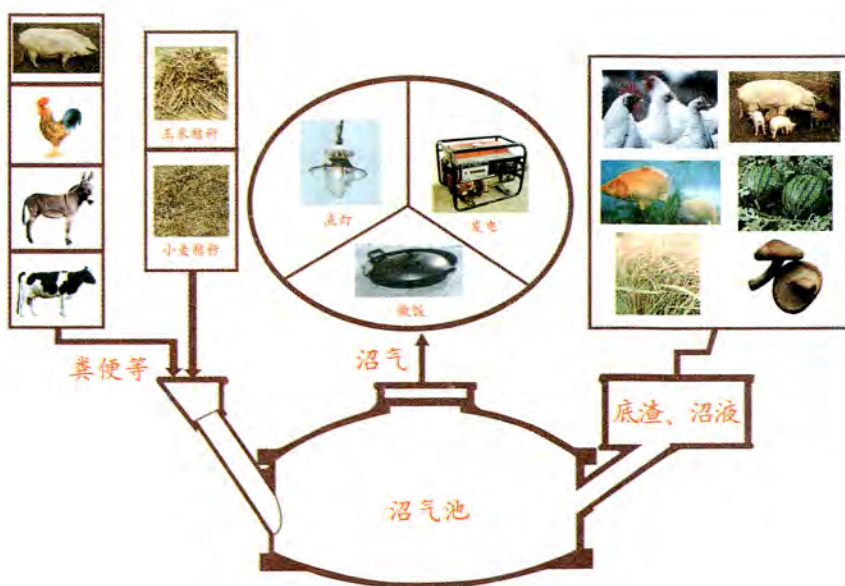
从1983年开始,我国政府就把沼气工程列入国民经济的“农村能源”发展计划。第一期计划实施的结果很好,各试点县在5年内人均年增加了相当于20 kg标准煤^②的生物质能^③,相当于年节约了100 kg的生物质;同时,森林覆盖率平均提高了6个百分点,使生态环境得到了改善。

在实践中,人们不满足于将沼气工程仅作为获取能源的手段,还开展了利用沼气液和底渣的试验,结果发现它们在用做再生饲料、肥料、食用菌培养基,以及改善农村卫生、促进畜禽养殖场废弃物的集中处理等方面,都具有很好的功效。例如,底渣处理后可以作为猪、牛的饲料和食用菌的培养基;沼气液则可以通入养鱼池,用于促进浮游生物的生长,增加鱼的饵料;沼液和底渣还是优良的作物肥料。同时,沼气生态工程还可以减轻环境污染。



①③ 生物质及生物质能: 生物质主要是指植物利用太阳光能将二氧化碳和水合成的有机物质, 其中所含的能量称为生物质能。

② 标准煤是表示物质能量的单位, 1 kg 标准煤的物质燃烧能够产生 29 300 kJ 的热量。



沼气的用途示意图

沼气工程充分利用了物质循环再生的原理。由于它在物质、能量多级充分利用和转化方面独特的纽带作用，大大促进了农村以农牧结合为中心的多种经营，已成为我国当今农村生态工程建设中最重要和最基础性的组分。我国政府有关部门已做出规划，要在今后30年内将全国的沼气池数目由现在的大约1 000万个增加到5 000万个。



实践活动

调查沼气工程的实施情况

有条件的地方，请对家乡附近的沼气工程进行调查。调查时要做较详细的记录，记录应包括以下内容（可根据具体情况增减）：

1. 调查时间、地点及人员组成；
2. 沼气池的结构和工作原理；
3. 沼气系统运行状况，包括原料来源、产气情况、用途、日常管理、成本、运行周期等；
4. 沼气和沼液的利用情况。

调查结束后，整理记录，画出沼气工程的能量流动示意图，并通过网络、报纸、走访等途径搜集资料。

思考下列问题并和同学交流：

1. 为什么我国要大力发展沼气工程？
2. 目前沼气工程还有哪些亟待解决的问题？

5.2

生态工程的实例和发展前景

20世纪70年代以来,我国生态工程的理论和实践都取得长足进展。在某些研究领域已处于国际领先的地位,在实践上已应用于农业生产、环境保护、城镇建设等许多方面,取得了令世人瞩目的成就。

生态工程的实例

在进行生态工程建设时,应当根据当地的实际条件,因地制宜地进行。以下介绍的生态工程实例,都是我国生态科学工作者和群众在长期的生态工程建设实践中,不断完善而形成的。你可以结合当地实际,选取若干实例与同学共同分析讨论。

农村综合发展型生态工程

问题 在我国13多亿人口中,有近一半的人生活在农村,人多地少是突出的矛盾。怎样才能实现物质的多级循环利用,在资源有限的条件下有较多的产出,取得经济效益、社会效益和生态效益的全面提高呢?

对策 建立农村综合发展型生态工程,是实现这一目标的有效途径,这在我国已经有不少成功的实例。

案例 北京郊区的窦店村就是这方面的一个典型。窦店村在被作为农业现代化的试点后,实施了以沼气工程为中心的物质多级循环利用工程:作物秸秆用来生产食用菌和饲料(图5-5);饲料喂养畜禽;人、畜粪尿作为原料生产沼气;沼液用于水产养殖业;沼渣为有机农产品——“无公害蔬菜”施肥和喂养畜禽,从而达到了物质利用的良性循环,缓解了农村“三料”(饲料、燃料、肥料)的缺乏问题,提高了土地产出水平;同时畜禽、鱼、谷物、饲料等加工品也可输出到市场上出售。总之,农业生态工程能创造多种劳动力就业机会,



图5-5 压制、贮存青贮玉米

小知识

青贮: 是指在玉米等作物没有完全成熟时,将果穗和秸秆一起收获切碎,通过厌氧发酵成为牛羊优质的青饲料。

- **氨化:** 是指利用氨水或氮素化肥处理稻麦秸秆,使之软化适口,提高其作为饲料的营养价值。
- **蓝绿萍:** 一种具有固氮作用的藻类。

增加农民收入, 开发可以更新的资源, 减少环境污染。目前, 窦店村的生态工程建设已被作为样板在全国进行推广 (图 5-6)。

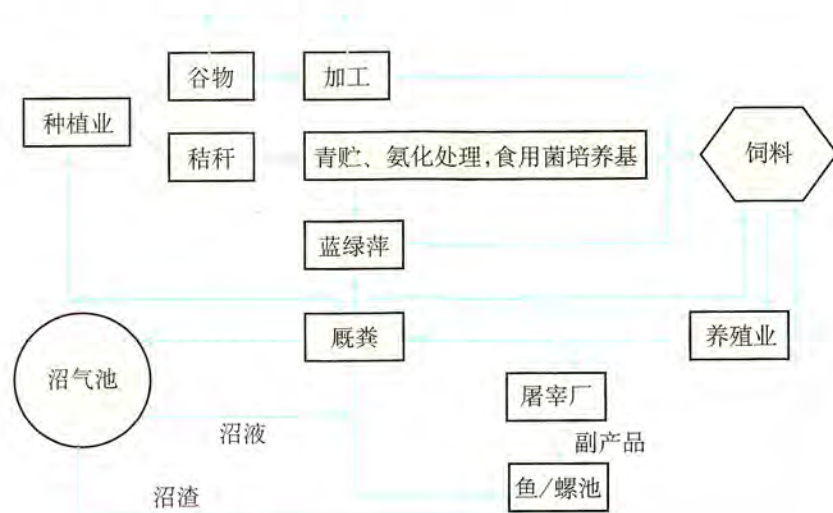


图 5-6 窦店农村综合发展生态工程示意图

—— 物质在系统内流动 —— 输出到市场



讨论

请分析这一图解, 并与当地农村的生态系统相比较, 讨论以下问题:

1. 在这一案例中, 主要运用了哪些生

态工程的基本原理?

2. 这一生态系统的结构和功能有哪些

特点? 有哪些值得借鉴的做法?

小流域综合治理生态工程

问题 小流域是指河流各级支流的集水区域 (面积一般在 $3 \sim 50 \text{ km}^2$)。这些区域往往是水土流失比较严重的地方。例如, 我国黄河携带的大量泥沙, 是许许多多小流域的水土流失累积在一起所致。据统计, 我国水土流失面积约为 $1.85 \times 10^6 \text{ km}^2$, 每年土壤流失量约为 $5 \times 10^9 \text{ t}$, 给下游地区带来严重的水患。此外, 由于流失的土壤中含有大量的氮、磷、钾等植物所需养分, 相当于每年流失 $4 \times 10^7 \sim 5 \times 10^7 \text{ t}$ 化肥。因此, 小流域治理具有十分重要的意义。

对策 小流域治理模式是我国农民和技术人员的创举, 它是应用生态工程的整体原理、协调与平衡原理, 以及工程学等原理, 通过保土蓄水、耕作措施、林草措施等工程和生物措施, 层层设防来控制土壤侵蚀的。目前, 通过产业结构调整、土地优化利用、加强农林牧结合等措施,



图 5-7 小流域治理模式

小流域治理已经从开始时的单纯造林和减水、减沙等工程，逐渐转移到生态经济型模式上，目标是建立稳定、持久、高效的复合系统，获得最大的生态和经济效益（图 5-7）。

案例 我国甘肃陇南地区总结出了“九子登科”的治理模式：即山顶戴帽子（封山育林），山腰系带子（还林还草，减少径流），坡地修台子（坡地改梯田种植作物），地埂锁边子（种植作物保护地埂），荒地荒沟栽苗子（营造薪柴林），山脚种果子（种植果园），沟底穿靴子（各种拦截坝、堤，拦截泥沙），见缝插针钉扣子（利用零星地种植林果），秋田盖罩子（覆盖地膜等保土耕作措施）。



讨论

分析甘肃省陇南地区的“九子登科”模式，在说明“九子”措施含义的基础上，谈谈你对小流域综合治理生态工程的理解。

1. 小流域的综合治理，“综合”表现在哪些方面？

2. 为什么要针对不同的地形采取不同的措施？这体现了生态工程的什么原理？

3. 从这一案例看，当地是怎么做到经济效益与生态效益相统一的？这一模式在其他小流域能够照搬吗？



图 5-8 草方格阻止沙丘移动

大区域生态系统恢复工程

问题 据统计，1999年我国有沙漠化土地 $2.67 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，其中由于人类农事活动的不当而引起的荒漠化面积，就有近 $9 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。这些荒漠主要分布在西北地区。科学家的研究表明，造成荒漠化的因素及其影响力的大小依次为：过度樵采(32%)，过度放牧(30%)，盲目开垦(27%)，不合理利用水资源(9.6%)，其他(1.4%)。

对策 为了控制荒漠化的发展和水土流失，改善生态环境，提高人民的生活水平，我国实施了一系列森林或草原植被恢复的生态工程、水土保持的生态工程等，如退耕还林还草生态工程、防沙治沙生态工程（图 5-8）、“三北”（“三北”指华北北部、东北大部 and 西北大部）防护林生态工程（图 5-9）；等等。

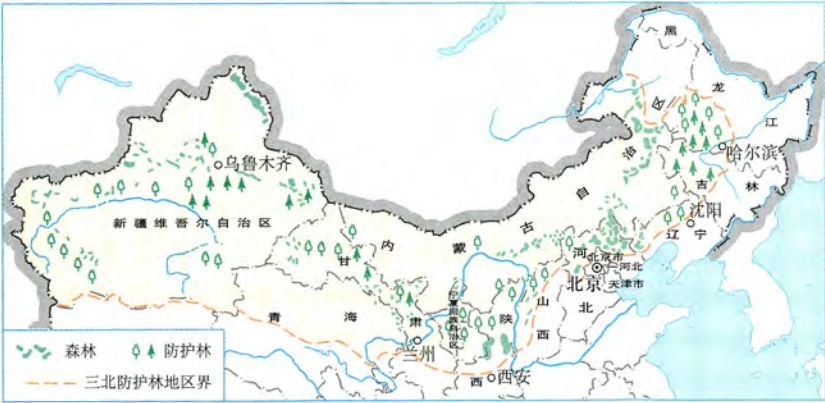


图 5-9 三北防护林分布图

案例 退耕还林还草工程从1999年开始在四川省、陕西省、甘肃省试点进行，到2000年扩大到25省区，至2002年底，累计退耕还林 $5.9 \times 10^6 \text{ hm}^2$ 。“三北防护林”总体规划用73年时间(1978—2050)完成(图5-10)，东起黑龙江省宾县，西至新疆乌孜别里山口，横跨13个省551个县，总面积 $4.069 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 。工程



图 5-10 三北防护林

完成后三北地区森林面积可增加到 $6.057 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ，覆盖率提高到15%，林木蓄积量达 $4.3 \times 10^9 \text{ m}^3$ ，生态效益累计可达13 000多亿元。该工程1987年被联合国环境规划署授予“全球500佳”之一，被誉为“世界生态工程之最”。

在进行上述生态工程建设的同时，还结合了其他配套工程，如风能工程(图5-11)、集水工程(图5-12)等。前者可以为人们提供价格低廉而无污染的电力，后者提高了集水、用水效率。



图 5-11 新疆达坂城风力发电站

图 5-12 干旱地区的集雨井



讨论

1. 国家为什么投入巨大的人力和物力兴建三北防护林工程? 这一工程为什么需要如此漫长的时间?

2. 这一工程横跨多个省区, 根据协调与平衡原理和生物多样性原理, 不同地区

在造林设计上应当注意什么问题?

3. 你的家乡属于“三北”地区吗? 如果是, 你能为这一工程做些什么? 如果不是, 请调查当地是否有类似的生态恢复工程。

大区域生态系统恢复工程使我国一些区域在造林、治沙, 以及农田林网化等方面, 取得了较大的成绩。这些绿色屏障减轻了风沙、干热风、寒露风、昆虫等对农作物的危害, 改善了农业生产条件, 加快了地方经济发展和人们脱贫致富奔小康的步伐。

湿地生态恢复工程

问题 湿地是地球上独特的生态系统, 是水域和陆地的自然过渡形态。我国目前有湿地 $6.594 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 是仅次于加拿大和俄罗斯的世界第三个湿地大国 (图 5-13)。



图 5-13 中国湿地分布图

湿地被誉为地球的“肾脏”, 具有蓄洪防旱, 调节区域气候, 控制土壤侵蚀, 自然净化污水, 为迁飞的鸟类和多种动、植物提供栖息地 (图 5-14), 以及为人们提供休闲娱乐的环境等功能。在经济发展过程中, 人们对湿地进行排水和围垦, 已经破坏了地球上 80% 的湿地资源。湿地的缩小会导致

局部气候变劣、地下水位下降、生物多样性降低、迁飞鸟类绝迹等，因此，湿地生态恢复工程已成为我国生态工程中的一项重要任务。

对策 湿地生态恢复工程就是采用工程和生物措施相结合的方法，如废水处理、点源和非点源污染控制、土地处理工程，以及植物物种的引进种植等，使受到干扰的湿地得以恢复。在湿地的周围，还应建立缓冲带，以尽量减少人类的干扰，使湿地依靠自然演替等机制恢复其生态功能。

案例 鄱阳湖的吞吐水量可以占到长江总水量的15%，是很重要的一类湿地。但是由于人类的围湖造田，使其面积从上个世纪50年代的5 100 km²缩小到90年代的3 900 km²。鄱阳湖面积的缩小，使长江的蓄洪能力缩减了4.5 × 10⁹ m³，湖区洪灾频繁发生。最严重的一次是1998年，数十万公顷的良田被淹没，150多万人家园被毁。为此，党中央提出了“平堤行洪、退田还湖、移民建镇”的方针，共迁移农民22万户，使长江流域的湖泊水面又恢复到建国初期的水平。鄱阳湖生态恢复工程的规模之大，投入之多，不仅在我国前所未有，在世界上也是空前的。但是，对湿地的恢复不是简单的退耕还湿地或建立自然保护区就能奏效的，在很大程度上还取决于湿地上、中游的水土保持情况，以及如何解决迁出农民的生计问题。



图 5-14 湿地上的黑颈鹤

小知识

点源污染是指能够找到具体污染来源的污染，如下水道、工厂排污口等。
非点源污染是指不能准确确定污染发源地的污染，如农田施用农药、化肥对地表和地下水造成的污染。

讨论

1. 当初人们为什么要围湖造田？

2. 为什么说退耕还湖是一项巨大的系统工程？实施这一工程面临的主要困难是
- 什么？

3. 地处湖区上游的人们对湿地恢复生态工程负有什么责任？

矿区废弃地的生态恢复工程

问题 随着工业的发展，采矿业对环境造成的日渐严重的破坏，使人们不得不将矿区废弃地的生态恢复工程提到日程上来。因为矿藏开采后往往会造成土体、土壤和植被，乃至整个地区生态系统的破坏。矿区极端恶劣的土地条件，又会阻碍植被的生长。尤其是规模巨大的采矿业，不仅会对土地景观造成巨大的影响（图 5-15），还可能产生严重的重金属污染。



图 5-15 采矿业对环境造成极大影响

对策 为加速恢复矿区生态环境,人们采用的措施包括人工制造表土、多层覆盖、特殊隔离、土壤侵蚀控制、植被恢复工程等。其中,关键在于植被恢复,以及为植被恢复所必需的土壤微生物群落的重建。由于矿区废弃土地的水分状况很差,特别是养分极其贫瘠,导致植被很难恢复。因此,恢复矿区生态环境,就要首先通过机械方法平整压实土地,人工制造表土;然后,在人造表土上,植树种草。

案例 我国赤峰市元宝山矿区生态恢复工程:自20世纪60年代以来,该矿区建立了大中小型煤矿20余个,为此,共挤占耕地5500 hm²,并造成了大量排土场、塌陷地和闲置地等类型的废弃地。该地区在生态恢复改造工程中,采取了诸如围栏、排石整地、植树造林、种草等措施,仅用了3年多的时间,就建立了草地750 hm²,年产优质牧草4000 t以上;还建立了3处加工能力为8 t的饲料工厂及一处饲养场,进行肉牛的养殖和粪肥的利用。这种综合开发治理为该地区带来了良好的生态、社会和经济效益(图5-16)。

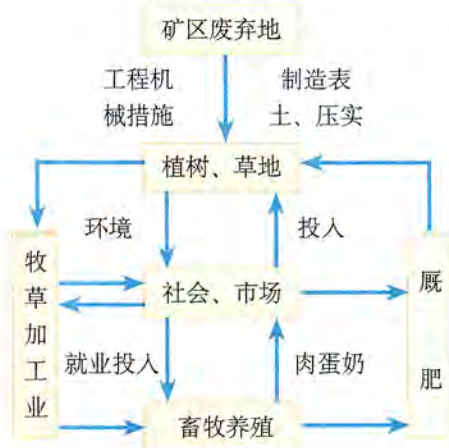


图 5-16 矿区生态恢复工程流程图



讨论

1. 在这一案例中,恢复植被的措施是植树和种草,为什么不是种植农作物?
2. 怎样合理地筹划养殖肉牛的数量?
3. 除煤矿外,你知道还有哪些矿区吗?这些矿区的恢复工程与煤矿是否有不同之处?
4. 你的家乡附近有矿区吗?你能结合那里的自然环境和社会实际,对矿区恢复生态工程提出建议吗?

城市环境生态工程

问题 随着我国城市化进程的加快,能流、物流和人流的增加,一方面促进了城市的繁荣,另一方面,也带来了严重的环境污染等问题。据统计,我国城市目前年产垃圾接近 1.5×10^8 t,城市人均日产垃圾超过 1 kg。过量的垃圾侵占了大量的土地,同时污染了环境;城市中的大气污染也比较严重,煤的不完全燃烧和汽车尾气的排放是大气污染的重要来源;在噪声污染方面,我国有 70% 的城市环境噪声平均达 65 dB,属于中等污染水平。

对策和案例 城市是由自然系统、经济系统和社会系统所组成的人工生态系统,因此,对城市环境的治理要把整个城市作为一个巨大的生态系统来考虑,即用生态工程

小知识

1 hm² 的阔叶林,每天能够吸收 1 t 二氧化碳,释放 0.75 t 氧气。较多的绿地会使人们身心愉悦。在城市绿化中,植被类型的选择应根据水、热条件因地制宜,不一定都采用草坪或乔木林,缺水地区应更多选择灌丛,以及乔、灌、草的结合。

的方法对城市环境进行综合治理。首先在城市规划和布局方面,要进行城市生态分区,合理分布工业区、居住区、生态绿地等;其次是推广“环境友好技术”和低污染清洁生产工艺,以减少污染的产出;采用各种手段治理污染,进行废弃物的资源化利用;同时要建立健全法制进行监督。例如,在净化城市空气方面,应在推行清洁生产的同时,加强城市绿地建设,提高城市林木覆盖率。又如,对污水的进一步净化,除发挥污水处理厂的重要作用外,还可以采用水生植物、湿地生态净化工程,以及水体富营养化防治生态工程等。我国科技人员创造了浮床生态工艺法来净化污水(图5-17):在浮床上种植特殊的水生、半水生植物以吸收水中的化学元素,采收的绿色植物体有的可以直接用做饲料,有的在大量干燥处理后可以用来提取铜、锌、汞等金属。这种方法一般在1~2年内就能使水体由原来的劣V类标准净化为Ⅲ类标准,并能使沉水植物和底栖生物等水生生物得到自然恢复,使水域生态系统逐步达到相对稳定状态。再如,对垃圾应进行分类处理,并实现垃圾资源化利用:改露天放置为掩埋处理,地表种植植物,减少了对水、气等资源的污染;还可以用热解(在无氧或厌氧状态下加热使垃圾分解,回收利用)、燃烧发电等方法。

为了树立城市环境建设的典范,国家环境保护总局自1997年组织开展了创建国家环境保护模范城市活动,张家港、大连(图5-18)、厦门、深圳、珠海、威海等城市被批准为首批国家环境保护模范城市。



图5-17 我国科技人员创造了浮床生态工艺法净化污水



图5-18 国家环境保护模范城市——大连



讨论

1. 汽车尾气是城市大气污染的主要来源之一，汽车噪声又是城市噪声污染的主要来源。你认为应当限制城市居民购买汽车吗？为什么？如果不限，应当采取什么措施来减少由汽车造成的污染？

2. 城市的水污染问题应当采取哪些措施来解决？每一个城市居民应当在这方面

承担什么责任和义务？

3. 现在不少城市大搞绿化美化，也有专家指出，某些缺水城市不宜广种草坪。如果你生活在城市，你认为你所在的城市应当怎样绿化美化？

4. 关于城市生态工程，你还有什么问题？提出来与同学讨论。

在肯定生态工程的作用，特别是对恢复和重建受损生态环境的重要作用的同时，不要忘记大自然固有的强大的生态恢复力量；更不能误认为只要有了生态工程，就可以走发达国家“先污染、破坏，后治理”的老路。

生态工程发展的前景

“生物圈2号”生态工程的实验及启示

多年来，人类梦寐以求地憧憬着冲出地球，向宇宙进军，在地球外寻找“诺亚方舟”。“生物圈2号”就是在人们的这种求索中诞生的。其目的是制造一个人工模拟的生命支持系统，以验证人类在离开地球的情况下，利用人工生态工程，仅仅依靠太阳能，能否维持生存。

“生物圈2号”建造于美国亚利桑那州的沙漠中，它因人们把地球本身称做“生物圈”而得名。它是一座微型人工生态循环系统。这个占地约1.27 hm²、8层楼高的密封钢架结构的建筑物，是人们花费了约2亿美元和8年时间建造起来的。它的地上部分为立体钢架结构型，配有双层玻璃窗，底部以厚水泥层完全与外界隔离。内部主要由7种模拟生态群落区和两个大气扩张室——“肺”组成。生态群落包括5个野生生物群落(热带雨林、热带草原、海洋、沼泽、沙漠)和2个人工生物群落(集约农业区和居住区)，约有生物4 000种(图5-19)。

“生物圈2号”虽然在物质上与外界完全隔绝，但可以通过电力传输、电信和计算机同外界联系。河水的流动(包括海洋的流动)、热带雨林中的风、降雨、雾和沙漠中的干热风等完全由机器推动，人密闭地生活在其中，只允许太阳光通过玻璃供植物进行光合作用。

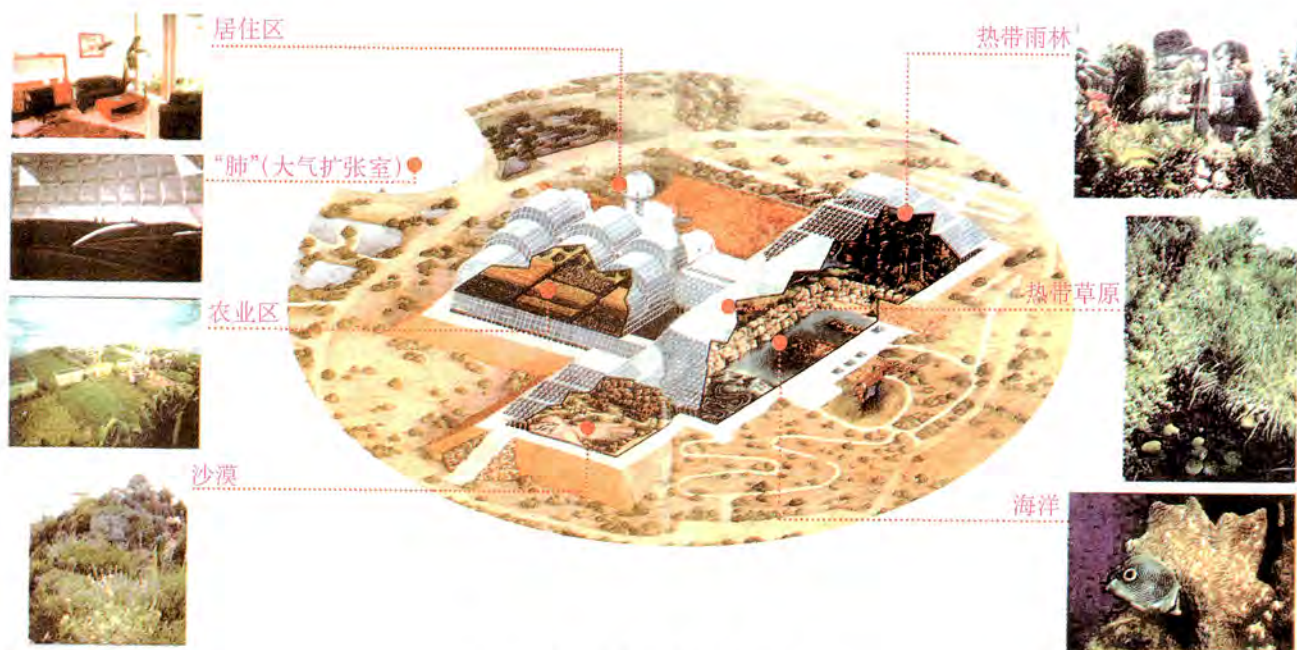


图 5-19 “生物圈 2 号” 结构图

“生物圈 2 号”的物质循环途径是：农田区的作物秸秆作为附近动物饲养场的饲料，产出的肉、蛋、奶以及作物产品供应人类。死亡植株及动物与人的排泄物经分解者进行分解，然后，返还到农田中给植物提供营养。生活废水经处理后进行循环利用。氧气由植物光合作用提供，呼吸产生的二氧化碳由植物吸收。

但经过 4 年的试验，情况偏离了科学家的预想，分析其原因主要是温度失调，以及“大气和海洋”比例与地球相差甚远，生物呼吸释放的 CO_2 超过了植物和海洋的固定能力，导致空气中 CO_2 的含量猛增； O_2 量减少，不足以维持人及动物的生存；19 种脊椎动物死亡；除蟑螂、蟋蟀、蚂蚁外，其余昆虫也全部死亡；靠昆虫传粉延续后代的植物也灭绝了，这个实验最终以失败告终。1996 年哥伦比亚大学接管“生物圈 2 号”，现在它已成为一个地球系统科学的研究中心，同时对游人开放。

“生物圈 2 号”工程虽然失败了，但它给了人类深刻的经验教训，使我们认识到与自然和谐共处的重要性，深化了我们对自然规律的认识，即自然界给人类提供的生命支持服务是无价之宝。迄今为止，尽管科学技术已经如此发达了，但是人类仍然没有能力去完全模拟出自然生态系统。

“生物圈 2 号”工程是人类在认识自然的道路上迈出的小小一步，人类探索自然、模拟自然的试验将在它的基础上继续进行下去。

► 异想天开

你认为人类将来可能在月球或火星上建造第二个生物圈吗？假如有一天这一梦想成为现实，你愿意成为这些星球上的居民吗？

对我国生态工程发展前景的分析与展望

生态工程自 20 世纪 60 年代提出后,在世界范围内逐渐得到广泛的认同和重视。目前,西方国家的生态工程除了治理环境污染的目标之外,主要是通过介于工程和依靠自然恢复力的一种中间途径,集中于对破坏的生态系统,特别是开矿后的废弃地以及湿地等进行生态恢复。但总体来看,发达国家的生态工程的应用范围比我国小,也不那么强调经济效益。

我国目前面临的生态危机,已经不单纯是环境污染问题,而是与人口激增、环境与资源破坏、能源短缺等问题结合在一起的“并发症”。作为解决途径之一的生态工程,需要走有中国特色的道路,即不但要重视对生态环境的保护,更要注重与经济、社会效益的结合。例如,我国的农业生态工程,就需要适合我国人多地少、山区丘陵面积大、农业生产条件差异明显、生产规模小、经营综合性强等特点。

由于我国的农业生态工程遵循的“整体、协调、再生、循环”的基本原理,植根于我国“天人合一”的古典哲学思想,吸收了传统农业的精华,适合中国农业和农村的特点,才显示出了如此强大的生命力。

毋庸讳言,目前我国的生态工程还有一些不足之处,如缺乏定量化模型的指导,难以像近年来西方出现的“精确农业”那样,设计出标准化、易操作的生态工程样板。此外,设计缺乏高科技含量,生态系统的调控缺乏及时准确的监测技术支持,缺乏理论性指导等。但是,由于我国的生态工程符合我国的国情,政府十分重视,因此,在实践中得到了广泛的应用。例如,以生态工程为技术支撑的“中国生态农业”,从 1980 年产生至今,虽然仅 20 多年时间,全国有计划、有组织的生态农业试点县和乡(村、农场)就已有 2 000 多个,覆盖农田面积 25 000 km² 以上、内陆水体 76 km²、草地 912 km²,涉及人口约 2 581 万。此外,还有数以百计的环境保护生态工程试点,也都不同程度地获得生态、经济和社会效益,如我国安徽省颖上县的小张庄(图 5-20、5-21),以前是个农业结构单一,生态环境恶劣的穷地方;通过农业生态工程的建设,已经成为农、林、牧、渔综合发展的农业生态村。随着我国社会、经济的发展,以及可持续发展战略的实施,我国的生态工程一定会展现出广阔的发展前景。

发达国家与我国的生态工程建设强调的重点有所不同,为什么?



图 5-20 小张庄农、林、牧、渔综合发展



图 5-21 小张庄的农田林网

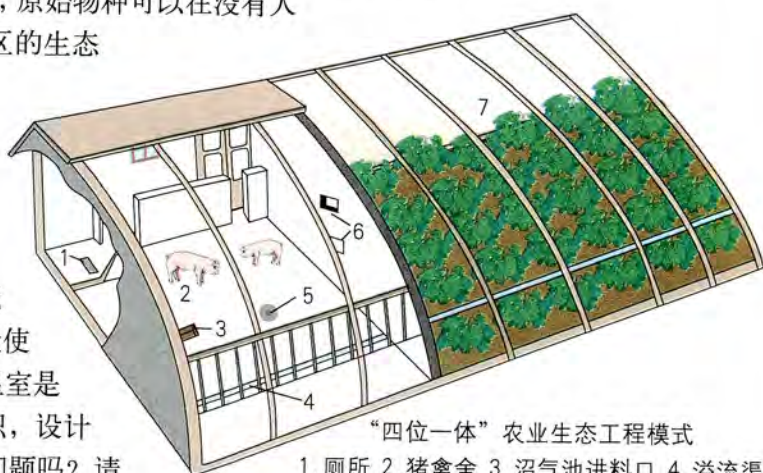


思考与探究

1. 分析以下材料，说明它所蕴涵的意义。

1953年朝鲜战争结束后，南北朝鲜以北纬38°为停火线，沿线两侧500多平方公里为非军事区，这里的地表经过战争的浩劫，几乎没有生物存在。40多年来，由于基本没有人类的活动，这里恢复了完全的自然状态。河水清澈、森林茂盛、物种繁多，还发现了14种被认为早已在朝鲜半岛灭绝的动物，包括东北虎和棕熊。美国科学家评论说：“全世界只有在这个地方，由于3000年以来的农耕文明突然终止，原始物种可以在没有人类干扰的情况下自由发展，这个地区的生态恢复情况大大超过了人类所有的生态建设所能达到的水平。”

2. 在我国北方地区，由于冬天气温很低，会导致农作物不能生长，家畜生长缓慢，甚至停止，沼气池不能正常产气；而农民要解决蔬菜的不间断生产问题。很显然，大量使用造价昂贵，并用燃料加热的玻璃温室是不符合我国国情的。你能用所学知识，设计一种生态工程，来较好地解决上述问题吗？请在画出其物质和能量结构图的基础上，说明你所依据的生态工程原理。参考提示：可参照右图的“四位一体”（“四位”指沼气池、猪禽舍、厕所及日光温室四部分）模式考虑。



“四位一体”农业生态工程模式

1. 厕所 2. 猪禽舍 3. 沼气池进料口 4. 溢流渠
5. 沼气池 6. 通风口 7. 简易日光温室




进展追踪

通过报纸、杂志、互联网或其他媒体搜集资料，了解生态工程的新进展，就自己感兴趣的问题，自定选题，写一篇专题综述报告。

参考选题：1. 我国退耕还林、还草、还湖的进展情况；2. 水利工程与生态环境；3. 城市绿化的喜与忧；4. 全球意识下的可持续发展。

专题小结




生态工程：人类应用自然生态系统、系统学等学科的基本原理和方法，通过系统设计和调控技术组装，对已被破坏的生态环境进行修复、重建，对造成环境污染和破坏的传统生产方式进行改善，并提高生态系统的生产力，追求生态、经济、社会效益的统一。生态工程遵循物质循环再生、物种多样性、协调与平衡、整体性等基本原理。生态工程在实践中得到了广泛应用，但生态工程不能解决所有的环境问题，不能走“先污染、后治理”的道路。

生态学是生态工程的科学基础，只有在透彻研究自然界生态规律的基础上，紧密结合社会的发展需要，才能提出系统可行的生态工程措施，为人类社会的可持续发展以及与自然和谐共处服务。



书海导航

- 
1. 生态经济。莱斯特·R·布朗著（中译本），北京：东方出版社，2002年。
 2. 可持续农业导论。程序，曾晓光，王尔大，北京：中国农业出版社，1998年。
 3. 生态城市建设与自然平衡的人居环境。[美]理查德·瑞吉斯特著，王如松，胡聘译，北京：社会科学文献出版社，2002年。
- 