

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



HUANJING GONGCHENG
JICHU

环境工程 基础

庄正宁 主编

Thermal Energy & Power



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

普通高等教育“十一五”规划教材
PUTONG GAODENG JIAOYU SHIYIWU GUIHUA JIAOCAI



HUANJING GONGCHENG JICHU

环境工程基础

主 编 庄正宁
编 写 王树众 董 霞
主 审 曹子栋



中国电力出版社
<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十一五”规划教材。

本书介绍了有关环境问题和环境保护的基本知识，着重介绍环境工程方面内容，包括大气和水体环境问题的形成及控制原理，以及固体废物和噪声的危害及治理技术。本书主要阐述工业工程和生产生活中环境污染的来源、形成机理及危害，环境工程的基本原理，环保工程中防治技术的理论基础和主要方法，以及基本的环保设备和工艺流程。

本书可作为普通高等院校能源、机械、化工与动力类专业或其他非环境科学工科类专业的本科生教材，也可供从事环境工程和其他工业工程的科技及管理人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

环境工程基础/庄正宁主编. —北京: 中国电力出版社, 2006
普通高等教育“十一五”规划教材
ISBN 7 - 5083 - 4355 - 7

I. 环... II. 庄... III. 环境工程—高等学校—教材 IV. X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 044508 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

北京铁成印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 7 月第一版 2006 年 7 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 21 印张 515 千字
印数 0001—3000 册 定价 32.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

前 言

为贯彻落实教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,加强教材建设,确保教材质量,中国电力教育协会组织制订了普通高等教育“十一五”教材规划。该规划强调适应不同层次、不同类型院校,满足学科发展和人才培养的需求,坚持专业基础课教材与教学急需的专业教材并重、新编与修订相结合。本书为新编教材。

20世纪以来,随着科学技术的迅猛发展和经济规模的空前扩大,人类在征服和改造自然的过程中取得了巨大的成就。但是,在人类利用和改造环境的同时,环境问题和环境危机也日益突出,如环境污染、全球气候变暖、酸雨危害、臭氧层破坏、生物物种多样性锐减、土地荒漠化等问题正使人类面临严峻的挑战,严重威胁着世界经济的可持续发展、社会的安定和人类的健康,环境科学就是在这种情况下逐渐发展起来的。环境科学的研究领域很广,内容极为丰富,是一门与自然科学、社会科学、技术科学相互交叉、渗透的综合性新兴学科。

环境工程学是环境科学的一个重要分支,主要运用相关学科的基本原理和工程技术方法,研究保护和合理利用自然资源,防治环境污染、改善环境质量、保护人类健康,是与能源、机械、化工与动力等工业工程密不可分的综合性学科。本书介绍了环境保护的基本概念,并结合能源、机械与动力工程专业特点,重点阐述了这些工程领域中主要污染的形成机理、控制原理和方法,其内容适合48学时的教学需要。本书力求做到内容深入浅出,详略得当,理论联系实际,注意培养学生分析问题和解决问题的能力,在有限的篇幅中,使读者对环境工程有较全面、系统的了解。

全书共分十章。前两章是基础知识部分,主要阐述环境的基本概念,环境问题的形成和现状,环境科学系统及能源开发利用对环境的影响。后面各章节介绍了大气污染、水污染、固体废物、噪声和振动的成因、危害及控制污染的基本理论和工程技术措施,并介绍了典型污染源的净化系统和方法。

参加本书编写的有庄正宁(第一~五章)、王树众(第六~八章)和董霞(第九、十章),其中庄正宁担任主编。西安交通大学曹子栋教授对全书进行了审校,提出了有见地的修改意见,在此深表感谢。本书在编写过程中,受到21世纪初高等教育教学改革项目《能源动力类人才培养方案改革研究与实践》资助和中国电力出版社的大力支持,在此一并致以衷心的感谢。

限于编者学识水平,且编写时间紧迫,书中难免存在不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2006年1月于西安交通大学

目 录

前言	
第一章 环境与环境科学	1
第一节 环境概述.....	1
第二节 生态学基础.....	5
第三节 环境科学.....	14
第四节 环境与发展.....	21
复习思考题.....	30
第二章 环境问题与环境污染	31
第一节 人类面临的环境问题.....	31
第二节 能源概述.....	39
第三节 环境污染及对生态的影响.....	48
复习思考题.....	59
第三章 大气污染	60
第一节 概述.....	60
第二节 大气污染物.....	67
第三节 燃料燃烧.....	70
第四节 大气主要污染物的生成机理及危害.....	73
第五节 大气污染的防治途径.....	85
复习思考题.....	91
第四章 大气污染的控制与治理	92
第一节 颗粒污染物的分离方法.....	92
第二节 除尘装置.....	98
第三节 气态污染物的净化方法.....	108
第四节 主要气态污染物的治理技术.....	120
复习思考题.....	138
第五章 大气污染扩散	139
第一节 大气结构与气象.....	139
第二节 大气污染物的扩散.....	147
第三节 影响大气扩散的若干因素.....	156
第四节 烟囱高度及厂址.....	160
复习思考题.....	164
第六章 水体污染	165
第一节 概述.....	165
第二节 水体的主要污染源.....	169
第三节 水体主要污染物.....	172
第四节 水体污染的危害.....	175
第五节 水污染防治的目标任务与原则.....	176
第六节 水质与水质标准.....	177

复习思考题	189
第七章 特定水体的污染及自净	190
第一节 水体自净	190
第二节 河流的污染与自净	190
第三节 湖泊(水库)的污染与自净	199
第四节 海洋的污染与自净	202
复习思考题	205
第八章 废水处理	206
第一节 水处理的基本方法	206
第二节 物理处理方法	207
第三节 化学处理方法	217
第四节 物理化学处理方法	221
第五节 废水的生化处理方法	231
第六节 废水处理系统设计	255
复习思考题	258
第九章 固体废物的处理、处置和利用	259
第一节 概述	259
第二节 固体废物处理基本方法	262
第三节 固体废物的综合利用	273
第四节 典型固体废物处理系统	285
复习思考题	293
第十章 噪声与振动	294
第一节 声学基础	294
第二节 声学器件和声学材料	301
第三节 常见噪声及其控制技术	310
第四节 振动控制	316
复习思考题	326
参考文献	328

第一章 环境与环境科学

第一节 环境概述

一、环境的概念

环境是指与某一体系有关的周围客观事物的总和。根据研究问题的需要和某种研究目的,人为地将研究对象从周围物体中分割出来,这种人为划定的一定范围内的研究对象称为体系,即中心事物。相对于某一中心事物有关的周围事物,就是这个中心事物的环境。因此,不同的中心事物具有不同的环境,即环境随着中心事物的变化而变化。

若中心事物是人类,环境即是以人为中心事物而存在于周围的一切事物,除人以外的一切其他生命体与非生命体均被视为环境的对象,这里不考虑其对人类的生存与发展是否有影响。对于环境科学来说,中心事物仍然是人类,但环境主要是指与人类密切相关的生存环境。它的涵义可以概括为:“作用在‘人’这一中心客体上的、一切外界事物和力量的总和”。人类与环境之间存在着一种对立统一的辩证关系,是矛盾的两个方面,他们之间既是相互作用、相互依存、相互促进和相互转化的关系,又是相互对立和相互制约的对立面。

当前,世界各国对各自国家的环境保护政策都有明确的规定,但这些规定和各国法律对环境的解释又不尽相同。我国颁布的《中华人民共和国环境保护法》中明确指出:“本法所称环境,是指影响人类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体,包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等”。法律明确规定的环境内涵就是指人类的生存和发展环境,并不泛指人类周围的所有自然因素。这里的“自然因素的总体”强调的是“各种天然的和经过人工改造的”,即法律所指的“环境”,既包括了自然环境,也包括了社会环境,所以人类的生存环境有别于其他生物的生存环境,也不同于所谓的自然环境。

自然环境是指人类发生,并赖以生存、生活和生产所必需的物质基础,包括:①各种天然的和经过人工改造的物质条件,例如空气、土壤、水、岩石、矿物和生物等;②能量资源,例如阳光、地热、温度、引力和地磁力等;③自然现象,例如由地壳的稳定性和太阳的稳定性引发的地震、火山活动、海啸等。这些要素又构成了大气圈、水圈、土壤圈、生物圈和岩石圈等各种圈层,因此自然环境又可分为大气环境、水环境、土壤环境、生物环境和地质环境等。概括来说,自然环境就是直接或间接影响到人类生存和发展的一切自然形成的物质、能量和自然现象的总体。

从广义上讲,自然环境包括了地球环境和宇宙环境两个部分。地球环境对于人类生存具有特殊的重要意义,它为人类提供了主要的活动场所以及必要的物质基础。到目前为止,在千万亿个天体中,能适于人类繁衍生存的只有地球这一个星球。宇宙环境是指地球以外的宇宙空间,理论上它的范围无穷大,某些星体的存在会影响到地球环境,例如月球引力会对海水的潮汐产生影响。在现阶段,人类活动的范围还主要限于地球,月球对人类的生存和发展影响非常小,因此没有把月球视为人类的生存环境。但是,随着空间科学和宇航事业的发

展,当人类能够频繁往来于月球和地球之间,并在月球上建立一定规模和适合人类生存的空间站,以及规模开发利用月球上的自然资源时,月球就会成为人类生存环境的重要组成部分。

社会环境是指人类活动而形成的各种事物,包括社会制度等上层建筑条件,构成社会的经济基础,以及与各种社会和经济体制相适应的综合生产力、政治制度、科学技术、法律制度、宗教信仰、文化艺术、哲学观念、组织机构、社会活动、各种人工产品和建筑物等。社会环境是人类在自然环境的基础上,通过有意识的社会劳动,经过加工和改造了的自然物质,以及所积累的物质、精神、文化等构成的总和,是人类长期生存发展活动的必然产物。社会环境的发展与变化直接影响到自然环境的发展与变化,它既可以对人类社会进一步发展起促进作用,又可能成为制约因素,因而在研究中不可把自然环境和社会环境截然分开。

二、环境的组成与分类

人类活动对整个环境的影响是综合性的,而环境系统也是从各个方面反作用于人类,其效应也是综合性的。人类与其他的生物不同,不仅仅以自己的生存为目的来影响环境、使自己的身体适应环境,而是为了提高生存质量,通过自己的劳动来改造环境,把自然环境转变为新的生存环境。这种新的生存环境有可能更适合人类生存,但也有可能恶化了人类的生存环境。在这一反复曲折的过程中,人类的生存环境已形成一个庞大的、结构复杂的、多层次、多组元相互交融的动态环境体系(hierarchical system)。

环境分类一般按照空间范围的大小、环境要素的差异、环境的性质等为依据。如从性质来考虑,可分为物理环境、化学环境和生物环境等。如果按照环境要素来分类,可以分为大气环境、水环境、地质环境、土壤环境及生物环境。通常,按照人类生存环境的空间范围,可由近及远,由小到大地分为聚落环境、地理环境、地质环境和星际环境等层次结构,而每一层次均包含各种不同的环境性质和要素,并由自然环境和社会环境共同组成。

1. 聚落环境

聚落是指人类聚居的中心、活动的场所。聚落环境是人类有目的、有计划地利用和改造自然环境而创造出来的生存环境,是与人类的生产和生活关系最密切、最直接的工作和生活环境。聚落环境中的人工环境因素占主导地位,也是社会环境的一种类型。人类的聚落环境,从自然界中的穴居和散居,直到形成密集栖息地——乡村和城市。显然,随着聚落环境的变迁和发展,它为人类提供了安全清洁和舒适方便的生存环境。但是,聚落环境乃至周围的生态环境由于人口的过度集中、人类缺乏节制的频繁活动、以及对自然界的资源和能源超负荷索取而受到巨大的压力,造成局部、区域、以至全球性的环境污染。因此,聚落环境历来都引起人们的重视和关注,也是环境科学的重要和优先研究领域。

2. 地理环境

地理学上所指的地理环境位于地球表层,处于岩石圈、水圈、大气圈、土壤圈和生物圈相互制约、相互渗透、相互转化的交融带上。它下起岩石圈的表层,上至大气圈下部的对流层顶,厚约10~20km,包括了全部的土壤圈,其范围大致与水圈和生物圈相当。概括地说,地理环境是由与人类生存与发展密切相关的,直接影响到人类衣、食、住、行的非生物和生物等因子构成的复杂的对立统一体,是具有一定结构的多级自然系统,水、土、气、生物圈都是它的子系统,每个子系统在整个系统中有着各自特定的地位和作用。非生物环境都是生物(植物、动物和微生物)赖以生存的主要环境要素,它们与生物种群共同组成生物的生存

环境。这里是来自地球内部的内能和来自太阳辐射的外能的交融地带，有着适合人类生存的物理条件、化学条件和生物条件，因而构成了人类活动的基础。

3. 地质环境

地质环境主要指地表以下的坚硬地壳层，也就是岩石圈部分。它是由岩石及其风化产物浮土两个部分组成。岩石是地球表面的固体部分，平均厚度 30km 左右；浮土是包括土壤和岩石碎屑组成的松散覆盖层，厚度范围一般为几十米至几千米。实质上，地理环境是在地质环境的基础上，在星际环境的影响下发生和发展起来的，在地理环境、地质环境和星际环境之间，经常不断地进行着物质和能量的交换和循环。例如，岩石在太阳辐射的作用下，在风化过程中使固结在岩石中的物质释放出来，参加到地理环境中去，再经过复杂的转化过程又回到地质环境或星际环境中。如果说地理环境为人类提供了大量的生活资料，即可再生的资源，那么地质环境则为人类提供了大量的生产资料，特别是丰富的矿产资源，即难以再生的资源，它对人类社会发展的影响将与日俱增。

4. 宇宙环境

宇宙环境，又称为星际环境，是指地球大气圈以外的宇宙空间环境，由广漠的空间、各种天体、弥漫物质以及各类飞行器组成。它是人类活动进入地球邻近的天体和大气层以外空间的过程中提出的概念，是人类生存环境的最外层部分。太阳辐射能为地球的人类生存提供主要的能量。太阳辐射能量的变化和对地球的引力作用会影响地球的地理环境，并与地球的降水量、潮汐现象、风暴等自然灾害有明显的相关性。随着科学技术的发展，人类活动越来越多地延伸到大气层以外的空间，发射的人造卫星、运载火箭、空间探测工具等飞行器本身失效和遗弃的废物，将给宇宙环境以及相邻的地球环境带来新的环境问题。

三、环境的形成与发展

地球环境是在几十亿年漫长的过程中逐渐演化而成的，它与生命体的产生和发展进化密切相关。根据“星云假说”理论，距今 60 亿年以前，地球还是一团没有凝集在一起的云状气尘物质，经长时间的演化，形成了地球胎。大约 46 亿年前，地球是一个炽热的大火球，外面包围着原始大气，随着放射性元素转化产生的热能聚集，地球内部温度升高，使地球内部物质具有可塑性，为重力的分异产生了条件。较重的金属元素如铁、镍等向地球内部集中，形成了地核；而较轻的物质如硅酸盐、碳酸盐类物质逐渐上升成地表，由此形成当今地球的地核、地幔、地壳等层次，即岩石圈。地球内部的气体则上升到地表，在引力作用下，气体滞留在地球的周围，其主要成分为还原性气体，如 CO_2 、 CO 、 CH_4 、 NH_3 和 H_2 等，尚不存在氧气，从而形成了原始的大气圈。同时，由于地球内部具有较高的温度，使得以结晶水形式存在于地球内部的水分不断蒸发，以水蒸气的形式逃逸出地球内部进入大气圈，并在温度降低时以雨水形式降落于起伏不平的地球表面。水分的蒸发和降雨，降低了地表的温度，产生了河流、湖泊和海洋，形成最初的水圈。至此，原始的水圈、大气圈、岩石圈的形成和它们之间的相互作用，为地球生命的出现创造了最基本的条件。

大约 35 亿年以前，原始海洋中的元素和小分子化合物，如 CH_4 、 CO 、 N_2 、 NH_3 、 H_2O 等，在 β 射线、 γ 射线、雷电及热能等各种能量的作用下，逐步合成了生命的基本要素，如氨基酸、核苷酸、蛋白质等简单有机化合物，继而集聚演化成具有单细胞结构，能进行无氧呼吸的厌氧生物，即厌氧细菌。它们以异养方式通过吸收水中有机物和发酵作用获得能量，水中有机物质含量随之减少。到大约 20 亿年前，出现了生命更为进化的自养原核生

物细菌、燧石藻和蓝藻等生物，这些含有叶绿素的原始生物具有光合作用的特征，是生命的第一次飞跃。它们生命过程中的新陈代谢作用使得大气圈中首次出现了 O_2 ，并减少了大气中的 CO_2 ，逐渐改变了原始大气的组成，使大气环境从还原型向更适应于生物生存发展的氧化型转变。

经过大约 4 亿年的积累，终于形成了一个含氧的大气圈。6 亿年前，海洋中出现动物。随着大气圈 O_2 含量的逐步增加，具有活泼化学性质的大气游离氧在高空积累，约在 4 亿年前形成了保护地球的臭氧层。臭氧层能吸收强烈的宇宙紫外线，为更高等的海洋生物进化和生命登陆创造了条件。水生生物的登陆表明了生物从水生到陆生的飞跃，生物圈由水圈扩展到陆地。地表环境也相继发生变化，由水生生态环境逐步演化到陆生生态环境。在几十亿年的地壳运动和地球环境演化过程中，逐渐形成现代地表分布，出现了高山峡谷、江河湖海、丘陵平原、绿色植物、差异明显的气候带等。

生物的进化过程随着地球环境的演变而加速。自 12 亿年前出现最早的真核生物后，5 亿年前出现海洋无脊椎动物，约 4 亿年~2 亿年前，首次出现了陆生蕨类植物，地球上形成了包括微生物、植物、动物的水陆生态系统，生物圈初现雏形。陆生植物的繁茂昌盛，加速提高了大气中的 O_2 水平，需氧动物逐步在陆地上繁衍，动物界也由此实现了从水体到陆地、从无脊椎动物到脊椎动物的飞跃，约在 2 亿年前出现哺乳类动物。如今，大约有 500~5000 万种生物与人一起构成了地球的生物圈。

生物的生命过程中，将大气圈中的 CO_2 转移到岩石圈中，形成了大量的碳酸盐岩石，逐渐改变了岩石圈的组成。同时，生物分解物与岩石风化物在地表形成了肥沃的土壤，为植物的昌盛奠定了基础，进而促使哺乳动物大量发展，也为人类的诞生创造了良好条件。

古人类出现于在距今大约 200~300 万年前。人类是物质运动即地球的地表环境发展到一定阶段的产物，而环境是人类生存与发展的物质基础。人类通过自身的活动来利用和支配自然界，同时也改造着自然界，把自然环境转变为新的生存环境，而新的生存环境又反作用于人类。因此，人们今天赖以生存的环境，就是在人类的进化过程中，由简单到复杂、由低级到高级、经过人工改造加工而发展形成的。

四、环境要素和环境效应

1. 环境要素

环境要素是指构成人类环境整体的、各个独立的、性质不同而又服从整体演化规律的基本物质组分，又称环境基质。通常，环境要素可以分为自然环境要素与社会环境要素，习惯上指自然环境要素，包括水、大气、岩石、生物、阳光与土壤等。

环境要素是组成环境的基本结构单元，结构单元又组成环境整体或环境系统。譬如，水组成各种水体，全部水体总称为水圈；大气组成大气层，全部大气层总称为大气圈；由坚硬岩石构成岩体，由岩石风化物 and 生物作用形成土壤，这样全部岩石与土壤构成的固体壳层称为岩石圈；此外，由动物、植物、微生物等生物体组成生物群落，而全部生物群落的总集称为生物圈。环境要素具有如下非常重要的特点：

(1) 最小限制律。整个环境的质量受到环境诸要素中那个与最优状态差距最大的要素所制约，即环境诸要素中处于最劣状态的那个环境要素控制环境质量的高低，而不是由环境诸要素的平均状态决定，也不能采用处于优良状态的环境要素去代替和弥补。所以，人们在改善整个环境质量时，首先应改造最劣的要素。

(2) 等值性。等值性说明环境要素对环境质量的作用。各个环境要素无论在规模上或数量上存在什么差异,只要它们是处于最劣状态,那么对于环境质量的限制作用没有本质的区别,具有等值性。等值性与最小限制律有着密切联系,前者主要对各个要素的作用进行比较,而后者强调制约环境质量的主导要素。

(3) 环境整体性大于环境诸要素的个体之和。环境诸要素之间产生的整体环境效应不是组成该环境各个要素性质的简单叠加,而是在个体效应基础上有着质的变化。也就是说,环境整体性质能够体现环境诸要素的某些特征,但未必反映出各要素的全部特点,而是各要素综合作用后更为复杂的性质。

(4) 环境诸要素相互依赖、相互作用与相互制约。环境某些要素孕育着其他要素,如岩石圈、大气圈、水圈和生物圈随地球环境的发展依次形成。每一新要素的产生,都会给环境整体带来非常大的影响。这些环境诸要素相互关系的特点是通过能量在各个要素之间的传递、形态转换,以及物质在各个要素之间的流通实现的。

2. 环境效应

环境效应是指在自然过程和人类活动的综合影响下,物质之间通过物理、化学和生物作用所产生的环境效果,引起环境系统和功能的变化。

(1) 环境化学效应。物质之间在综合环境条件影响下进行的化学反应所引起的环境效果。例如,环境的酸化、盐碱化、光化学烟雾等。这些环境化学效应不仅使农作物与渔业减产,还会导致土壤和地下水的质量下降,以及危害人类的身心健康。

(2) 环境物理效应。环境诸因素在物理作用下引起的环境效果。例如,热岛效应、噪声和振动、地面变迁等。

(3) 环境生物效应。环境诸因素变化导致生态系统变异的环境效果。例如,气候变化引起生物种群突然消失(中生代恐龙的灭绝);现代大型水电工程的建设,使水生生物的栖息和繁殖受到影响;生活和工业废水大量排入江河湖海,使水生生物受到严重危害,甚至灭绝。

第二节 生态学基础

一、生态学概述

1. 生态学概念

生态学是研究生物与环境之间相互关系及其作用机理的科学。这里所说的生物包括植物、动物和微生物,而环境是指各种生物一定的生存环境,由非生物环境和生物环境两方面组成。非生物环境包括光照、热能、空气、水分、土壤和各种无机元素,生物环境包括主体生物以外的其他一切生物所施加的各种影响,如竞争、捕食、寄生和互利合作等。

德国生物学家海克尔(E. Haeckel)于1869年首先提出生态学这一名词,并于1886年创立生态学这门学科。当时,他把生态学定义为“自然界的经济学”,是管理自然的科学,研究生物在环境中如何生活。后来,也有学者把生态学定义为“研究生物或生物群体与其环境的关系,或生活着的生物与其环境之间相互联系的科学。”定义表明,生态学是把生物和环境看作一个有着相互关系的整体,具体体现在生物与其生存环境之间作用与反作用、相互依赖与制约和物质循环与代谢等几个方面。

传统的生态学基本上局限于研究生物与环境之间的相互关系，隶属于生物学的一个分支学科。生态学的研究对象从单个分子到整个地球生物圈，一般可划分为4个层次：个体、种群、群落和生态系统。其中，生物的个体水平主要研究其对环境的反映，单个物种构成的种群水平主要研究影响种群丰富度和种群波动的因素，而由不同物种构成的生物群落水平主要确定群落的结构和功能，各个生物群落和非生物环境所构成的生态系统水平主要研究其中的能量流动、食物网和养分循环。

随着现代科学技术的不断发展，生态学突破了原来纯生物科学的范畴，向微观与宏观两极发展。例如，微观研究已深入到细胞与基因的水平，而宏观研究已从生物群落与环境条件的统一，发展为生物圈与非生物因素之间相互作用的地球系统，即全球生态学。

2. 生物与环境的相互作用

生态系统是生物和非生物因素的综合统一体，生物与环境之间存在着密切的联系和相互作用，最终达到相互协调，演化成一个优良的生态系统。

(1) 生物依赖于环境。生物是多层次组织结构构成的有机体，愈高级的生物，组织结构愈复杂。但不管哪一种生物，细胞都是其基本功能单位。细胞由不同的生物大分子，如蛋白质、核酸、脂类、碳水化合物等组成，并通过生物体的基本结构单元细胞的新陈代谢构建生物体。各类生物大分子有着共同的物质基础元素，而这些元素均来自环境，即生物大分子环境中的各类原子所组成。新陈代谢是生物细胞在生长、繁殖、分化的活动中从环境摄取养分和能量，并将废物排弃的过程。新陈代谢的实质就是环境中的大分子分解后成为细胞活动所需能量及细胞基本结构的元素，细胞靠细胞膜的吸收作用从环境中选择性地吸收营养物质及矿物元素，然后，通过酶的作用，细胞中的营养物质进行生物化学反应，合成有机体大分子，同时将废物排弃到细胞外。因此，离开了环境，生物会因缺乏物质基础及其能量来源而死亡。

(2) 环境因子对生物的影响。非生物环境因子为生物提供必要的生存条件，但同时又可能出现某些限制因子，尤其是那些量少但必不可缺的营养因子及变幻无穷的气候因子。因此，生物对环境因子有一定的耐受性与适应性。环境因子的量或质不足或过多，超过了生物的耐受度，将会影响生物的生存。适应性体现在当环境因子变化时，生物因子也随时通过核酸分子的突变，产生遗传变异来重新调整，生物便不断进化发展，而那些耐受性较低的生物则趋于死亡。

(3) 环境污染对生物的影响。环境污染主要指人们为了提高生存及生活质量，向环境过度索取资源，各行各业排出超出环境自净能力的各种有害废弃物质的行为。环境污染对生物的危害，主要是一些有毒有害物质通过呼吸、消化、感官等系统进入体内，与生物细胞大分子物质进行反应，使生物细胞降低或丧失正常的功能，最终对生物及人体健康产生危害。

环境污染对生物及人类的影响将在其他章节中进一步阐述。

3. 人类与环境的关系

历史上人们对环境的关心主要考虑自然环境如何影响社会活动及其社会发展。只是最近几十年来，公众和环境工作者才越来越多地关注人类活动怎样影响自然环境。关于人与环境的关系，许多学者或环境论者认为：①自然资源的价值在于被人们利用，但利用过程中要保证高效和无污染废物。环境保护主要关注的是避免浪费自然资源，确保有效利用资源。这种造福于人类的环境保护和资源开发必须为多数人的利益服务，而不只是为少数人的利益；

②要求对影响环境的人类活动有所限制,认为非人类生物和自然物,如植物、动物、土壤和水体都有存在的权利;③人类活动中的不谨慎行为能导致自然系统不可逆转的变化,可能产生灾难性的影响,甚至有可能危及地球保障人类生存的能力。人类、其他生物和环境因素之间是一种互相依存的合作关系,只要他们中间任何一方发生问题,这种关系都会遭受破坏,即生态系统失去平衡。

随着人类征服大自然的能力增强,伴随着的是人类对自然系统的破坏能力也在增强,从而面临着环境日益恶化的挑战。为此,公众和科学家们要求对人类活动加以约束,使“生态意识”逐渐成为全民道德观。仅仅依靠科学技术不能完全解决环境和生态系统问题,只有整个人类意识到人类和自然环境是一个整体,制定道德、经济和法律的制约措施,才会是有效的。因此,生态学是人类社会与生物圈稳定与持续发展的理论基础。

二、生态系统的组成

(一) 生态系统概念

生态系统是指自然界的在一定的地域内由全部生物和非生物环境相互作用的统一体。换言之,生态系统是生命系统与环境系统在特定空间的组合。在这个统一整体中,生物与环境之间相互影响,相互制约,不断演变,并在一定时期内处于相对稳定的动平衡状态。生态系统由各种活动角色组成,具有营养级别、生物多样性等系统的结构特征,以及生物生产、物质循环、能量流动和信息传递等系统功能。

自然界由各种各样的生态系统组成。在生态学研究,通常划出一个特定的生态系统,如一条河流、一块土地、一片森林。生态系统的边界依具体研究情况而定,因此其范围可大可小,小到一个池塘、一滴海水、甚至是动物体内消化道中的微生物系统,大到陆地、海洋、以及整个地球生物圈。生态系统一般可划分为自然生态系统和社会生态系统两类,前者中的生命系统是生物群落,后者中的生命系统就是人类。下面主要是介绍自然生态系统。

(二) 生态系统的组成

生态系统由生物和非生物环境两大部分组成,而生物部分又包括生产者、消费者、分解者三类活动角色。

1. 生物环境

(1) 生产者。生产者主要是绿色植物,也包括进行光合作用和化学能合成的某些微生物。绿色植物从太阳获得能量,同时从土壤中吸取养分,依靠体内含有的光合作用色素,将二氧化碳、硫化物、水和无机盐类等合成为有机物质,同时放出氧气,并把太阳能转变为化学能贮存在有机物质的分子结构中。微生物利用太阳能或化学能将二氧化碳和水把无机物转化、合成为有机物质。生产者又称为自养生物,其生产的有机物及贮存的化学能,除供自身生长发育需要外,还用来维持其他生物的生命活动。这种供养关系形成生态系统中的食物链,每一环节为一个营养级。生产者称为第一营养级。

(2) 消费者。消费者是指食用植物或相互食用的生物,以动物为主。由于它们不能直接利用太阳的光能和无机化合物中的能量,只能直接或间接地从生产者摄取碳水化合物、脂肪和蛋白质等有机物质,获得生命活动的能量,因此消费者又称为异养生物。在食物链中,它们属于不同层次的营养级,其中以植物为食的食草动物为第二营养级;以食草动物为食的食肉动物为第三营养级;以第三营养级的动物为食的食肉动物为第四营养级;依次类推。消费者在生态系统中的主要作用是实现物质与能量的传递与物质的转换,如食草动物从植物中获

取能量，并把植物性蛋白转换为动物性蛋白。

(3) 分解者。分解者主要是指具有分解能力的细菌和真菌等微生物，也包括某些参与分解活动的原生动物、腐食性动物、软体动物，如咀嚼植物和枯木的鼠类、甲虫、白蚁，以及蚯蚓、蜈蚣等。它们通过物理的肢解，腐生生化成可溶性有机酸及腐殖酸矿化三个作用阶段，把生产者和消费者的残体分解为简单的无机物质，归还到非生物环境中，供生产者再吸收利用。分解者也是生态系统中的异养生物，又称为还原者或腐化性生物。

2. 非生物环境

非生物环境部分包括各种环境要素的总和：温度、光照、大气、水体、土壤、气候、各种非生物成分的无机物质和有机物质，即由所有非生命物质和能量两部分构成。在这个有机的统一整体中，能量与物质在不断地循环和流动，并在一定条件下保持着相对平衡。非生物环境为各种生物提供必要的营养元素和生存环境，是生态系统中各种生物赖以存在的基础。

(三) 生态系统的结构

生态系统的结构是指生态系统中各组成成分之间的相互关系。良好的生态结构配置可以使生态系统在一定时期和地域保持相对稳定的状态。生态系统的基本结构可划分为时空结构、生物多样性结构以及营养结构。

1. 时间和空间结构

生态系统的空间结构是指生物及环境因素在空间的配置，包括生物群落和非生物环境因素在空间上的分布。例如，在高山森林生态系统中的垂直方向上，通常鸟类在空中飞翔，兽类在地面活动，许多昆虫则在土壤中；植物中自下而上有苔藓地衣层、草本植物层、灌木层和乔木层。

生态系统的时间结构是指生态系统的结构随时间变化而产生的变化。由于时间出现一年四季的周期性变化，从而生物群落结构也随之发生变化，如森林生态系统中生物在春、夏、秋、冬有不同的形态，植物忽而绿草如茵，忽而枯枝残叶；动物出现休眠，鸟类迁移等。另一方面，随着时间的流逝，生物的物种也将发生明显的演化，则生态系统的结构随之变化。

2. 生物多样性结构

生物多样性是指某一区域内遗传基因的品系、物种和生态系统多样化总和。遗传多样性指在自然因素或人工手段的处理下，使某个种内的遗传物质发生变异，产生了变种、亚种等；物种多样性指生命有机体的多样性，是不同生命形式的具体体现。多样性的生态系统由各种生物群落与其周围的环境组成，这是所有物种赖以生存与发展的基础，决定了物种、种群、群落的发展与消亡。当地球上的环境变化时，会导致依赖于生存环境的物种不断演化，从量变到质变形成新的物种。另一面也会使已形成的物种，如恐龙在地球上消亡。

3. 营养结构

生态系统的营养结构是由生物的食物链构成，实质上是各营养级生物的能量转移和转换过程。表现为生产者可向消费者和分解者分别提供营养，消费者也可向分解者提供营养，分解者又可把营养物质输送给环境，由环境再供给生产者。不同的生物属于不同的营养级，如前所述，绿色植物和其他自养生物构成第一营养级，草食动物为第二营养级，一级肉食动物为第三营养级，二级肉食动物为第四营养级，依此类推。如果将生态系统中每个营养级生物的个体数量、生物量或者能量，按营养级的顺序由低到高排列起来绘成结构图，就会成为一个金字塔形，即生态金字塔。其中，能量金字塔、一般的生物量金字塔和数量金字塔，通常

从第一营养级到最后营养级逐渐减少，即营养级越高的生物，其生物种类、数量和该营养级所有生物的能量之和越少。

(四) 生态系统的类型

地球生物圈由大小不一、各种形式多样的生态系统所组成。人们可从不同研究角度，根据各个生态系统的组成成分和结构特征对生态系统进行分类，如从各种环境因素、生物因子和非生物因子的特点来划分不同的生态系统类型。依据生态系统受人类活动影响程度的大小，可划分为自然生态系统、半自然生态系统和人工生态系统；而根据环境因素水体把生态系统划分为陆生生态系统、水生生态系统和湿地生态系统。

陆生生态系统分为森林、草原、稀树干草原、荒漠等各类生态系统。其中，以乔木和灌木树种等绿色植物群体为主组成的森林生态系统，绿色植物的生产量约占陆地总生产量的72%，对物质循环和能量流动的影响最大，其次是草原生态系统。水生生态系统又可以划分为海洋和淡水两大生态系统，并可根据水体的性质分别进一步划分为各类子系统。水生生态系统中最大的是海洋生态系统，地球上生物生产力的25%来自海洋，其次是海滩生态系统、湖泊生态系统。

自然生态系统是指那些存在于自然界，没有直接受到人类活动干扰的生态系统，如原始森林、远洋深海、未经放牧的草原、冻原地带等人类尚未到达的地方，能通过自我结构的调整来保持系统的相对稳定。人工生态系统是指人类与其生存环境相互作用的网络结构，完全由人类活动所创造和控制的生态系统，如农村、城市、工业区等。半自然生态系统指受到人类活动的影响，但其环境仍保持一定自然状态的生态系统，如天然放牧的草场、人工森林、耕作的农田、养殖湖泊等。

三、生态系统的基本功能

能量流动、物质循环和信息传递是维系生态系统稳定的三项主要功能。食物链（网）和营养级是实现这些功能的保证。

(一) 生态系统中的能量流动

生态系统中除少数能自养的细菌以外，几乎所有的生物体所获取的能量，都是太阳能单向传递的结果。太阳能以阳光的形式进入生态系统，并通过绿色植物体内的光转换系统——光敏色素，尤其是叶绿素的光合作用被固定，把光能转换为化学能贮存在有机物中，其中一部分供给异养生物进行生命活动。这样，太阳能通过光合作用进入生态系统，转化为化学键上的高效化合能开始流动，并通过生产者、消费者、分解者之间的食物链开始传递，最终被分解为无机物，重新进入为植物利用的再循环运动。这种生物与环境、生物与生物之间的能量传递和转换的过程，称为生态系统的能量流动。

能量传递与转换遵循热力学定律，即说明能量守恒的热力学第一定律和能量贬值的热力学第二定律。热力学第一定律指出，能量不能被创造，也不能被消灭，在流动过程中可以从一种形式转换成另一种形式，数量保持不变。热力学第二定律指出，在能量的传递和转化过程中，只有一部分可以继续传递和做功（有效能），另一部分必然会以热的形式消散，成为无效能，即任何一次能量转换都会使得系统的有效能减少，无效能增加，能量发生贬值。

生态系统中的能量流动也服从热力学定律。这种能量流动的特点是能量流动的单向性和通过各营养级的能量逐渐减少，即以食物形式存在的能量总是从低的营养级流向高的营养级，传递过程中的有效能不断损失。这是因为：①各营养级生物总有一部分会未被食用而自

然死亡，最终被分解者所利用，不可能全部被下一营养级的生物完全利用；②各营养级的生物要维系自身的生命活动，必须消耗一部分能量，这一部分最后以热能的形式消散到环境中；③各营养级不能完全吸收利用上一营养级的能量，通过排泄损失部分能量。

由此可见，生态系统食物链中的能量转换效率很低。绿色植物通过光合作用从太阳得到的能量很少部分被吸收。全部照射到叶子表面的阳光只有约 4% 被有效利用，除了供植物本身生命活动需要外，光合生物能为上一营养级提供的太阳能还不到 1.29%。其他营养级的动物也是如此，从植物或其他动物身上摄取的能量，能被上一级有效利用的约为 10%。营养级越高，生物量越少，其储存的能量越低，形成前述的生物金字塔。因此，食物链不可能太长，生态系统中的营养级最多只有四、五级，很少超过六级。若某一营养级不足以向上一营养级提供足够的能量，食物链就会中断。

(二) 生态系统中的物质循环

自然界中的物质由各种化学元素组成。这些物质在生态系统的各个组成部分之间不断进行着循环。其中，碳、氢、氧、氮、磷、硫是自然界中的主要元素，也是构成生命有机体的主要物质。它们在自然界的良性循环，保证了生态系统的稳定性。

1. 碳循环

碳是构成生物体和贮藏光能的主要元素，在自然界中以碳水化合物、脂肪、蛋白质等有机体和 CO_2 、碳酸盐等无机体的形式存在，并在大气圈、水圈、生物圈、岩石圈和化石燃料

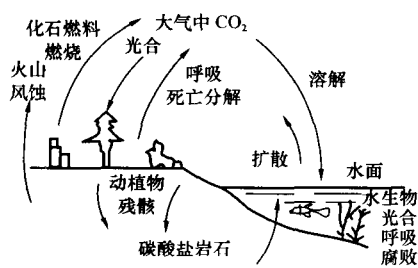


图 1-1 碳循环

(石油、煤等) 等环境因素中进行碳循环，如图 1-1 所示。光合生物通过光合作用吸收大气中的 CO_2 和 H_2O 形成碳水化合物，同时释放氧气。碳水化合物通过食物链逐级往高的营养级流动，并转换为不同的形式。同时，动物通过呼吸作用吸入 O_2 而放出 CO_2 ，生物残体被微生物分解，矿化时也释放出 CO_2 ，这些经过生命系统的 CO_2 又重新返回空气中。此外，化石燃料的燃烧，自然界的火山喷发、地震也会将固定的碳元素以 CO_2 的形式释放到大气中。另外， CO_2 通过扩散作用在大气

和水体之间循环，进入水体中的 CO_2 会被吸收形成新的碳酸盐岩石，也可以通过死亡动植物的遗骸进入地壳形成化石燃料。

碳循环对环境的影响主要表现在大气中的 CO_2 含量。大气中 CO_2 的体积分数虽然只有 0.035%，但其稳定性，尤其是化石燃料燃烧排放的大量 CO_2 对全球气候变化产生了不可忽视的影响。

2. 氮循环

氮是构成生命物质蛋白质和各种氨基酸的主要元素，也是大气的主要组成成分。虽然大气中自由氮含量占 79%，却不能直接被生物利用，只有将氮制造成硝酸盐进入土壤，才能被植物吸收，最终通过食物链进入各类生命体。氮循环主要是在大气、水体、生物和土壤之间进行，如图 1-2 所示。

大气中的氮进入土壤和植物有以下几种方法：①人工

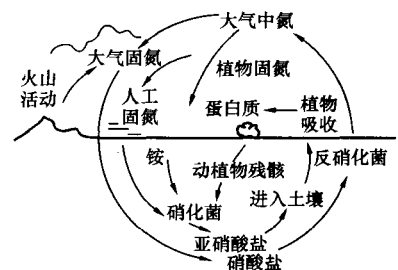


图 1-2 氮循环

固氮。人类通过工业手段，将大气中的氮合成氨或铵盐，即合成氮肥，供植物利用；②非生物固氮。如雷雨天气的闪电现象产生的电离作用，能将大气中的氮氧化成硝酸盐，随降雨过程进入土壤；以及火山喷发出的岩浆所固定的氮，植物吸收这些进入土壤的氮；③植物固氮。寄生的豆科植物和其他少数高等植物根部的根瘤固氮菌具有固定大气中的氮的能力。

土壤中被固定的氨或铵盐，经硝化细菌将其转化为亚硝酸盐或硝酸盐被植物吸收利用，并与碳结合形成各种氨基酸，最后合成蛋白质。动物直接或间接从植物中摄取植物性蛋白，作为自身的营养来源。生物圈中动植物的残体，以及动物新陈代谢过程中的含氮排泄物被微生物分解后又形成氨或铵盐，回归于土壤。土壤中的氨形成硝酸盐后，一部分为植物利用，另一部分则由反硝化细菌把硝酸盐分解为氮分子，重新进入大气。

氮循环在环境问题中有着十分重要的地位，如缺少蛋白质会造成营养不良，化石燃料燃烧排放的氮氧化物会污染大气，过度使用含氮化肥会污染水体。

3. 硫循环

硫是氨基酸和蛋白的重要组成成分，它以硫键的形式把蛋白质分子连接起来。硫循环由自然作用和人类活动所推动，主要在大气、海洋和陆地之间进行。

自然作用的循环过程是：地壳中的硫通过火山喷发和岩石内的硫经过风化作用，以 H_2S 、 SO_2 或硫酸盐的形式进入大气；海底火山爆发时产生的硫分别逸入大气和溶入海洋；大气、水分和土壤中的硫被植物所吸收，并进入动物体内，当生物残骸被微生物分解时生成 H_2S 回到大气；海洋中的生物遗骸腐败后，其储存的硫重新释放到海水中，当海浪飞溅时，硫又进入大气。大气中的硫或硫酸根离子，通过降水、沉降和地表面吸收等过程回到陆地和海洋，并被植物吸收；地表径流的冲刷使土壤中的硫进入河流、海洋，最终沉积于海底。

人类作用的循环过程是：地壳中含硫的化石燃料和金属矿物在人类使用的过程中，通过燃烧和冶炼将硫还原成 H_2S 和氧化成 SO_2 ，排入大气，或者随着酸性废水排放到土壤和水体。

硫的自然循环过程在没有外界的强烈干预时，在生态系统中基本处于一种稳定和平衡的状态。当人类无节制地使用化石燃料时，会向大气排放出大量的 SO_2 ，从而破坏了硫的正常循环，形成严重的环境污染。

(三) 生态系统中的信息传递

信息是指系统传输和处理的对象，通常是指在传播形式中的情报、信号、消息、指令、数据、图像等知识内容。生态系统中的信息是指各种环境因素。在沟通生物和环境之间，生物种群内部，以及各生物群落之间的关系方面，生态系统的信息传递和联系方式使生态系统结合成为一个有机的统一整体。生态系统的信息传递往往是双向可逆的，这是指既存在输入到输出的信息传递，也有从输出向输入的信息反馈。生态系统中的信息形式主要有营养信息、行为信息、化学信息和物理信息。

1. 营养信息

生态系统中的食物链和食物网构成一个生物的营养信息系统。各种生物通过营养的方式把信息从一个个个体、一个种群或一个群落传递给另一个个体、另一个种群或另一个群落。例如，食草动物与草原植被这两个生物群落之间，当食草动物少时，草原植被就繁茂昌盛，这一信息传递到其他食草动物之中，则草原上的食草动物将增加；反之，当食草动物过多时，草原植被减少，不足以供养全部的食草动物，这一信息使得部分食草动物迁移。因此，从草