

普通高等教育“十二五”规划教材

环境工程学基础

王新 主编

胡筱敏 梁吉艳 副主编



NLIC 2970654839



化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

环境工程学基础

王新 主编

胡筱敏 梁吉艳 副主编



NLIC 2970654839



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是普通高等教育“十二五”规划教材。

全书分为上下两篇，上篇为理论篇，主要内容包括生态学基础（生态系统、生态平衡、生态城市）、可持续发展、环境监测与环境质量评价；下篇为工程篇，主要内容包括水污染控制工程（污水的三级处理法原理及工艺）、大气污染控制工程（颗粒污染物及气态型污染物的控制）、固体废物的处理与处置工程、噪声及其它物理污染的控制（电磁辐射污染、放射性污染、热污染、光污染、振动等危害及防护）和土壤污染控制工程。

本书可作为高等学校环境工程、环境科学等专业的教材，也可供从事环境保护工作的技术人员、管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

环境工程学基础/王新主编. —北京: 化学工业出版社, 2011.5

普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-122-10607-0

I. 环… II. 王… III. 环境工程学-高等学校-教材 IV. X5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 028772 号

责任编辑: 满悦芝
责任校对: 边 涛

文字编辑: 荣世芳
装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 15 字数 382 千字 2011 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.80 元

版权所有 违者必究

前 言

环境工程学是一门以工程科学知识和方法为基础的技术性学科，也是一门交叉性的工程科学学科。进入 21 世纪以来，随着科学技术的迅猛发展和经济规模的空前壮大，人类在征服和改造自然的过程中取得了巨大的成就，但是，在人类充分利用环境的同时，环境问题和环境危机也日益突出。环境工程学主要是运用本学科的基本原理和工程技术方法，研究如何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，是实现经济和环境可持续发展的理论基础和实践手段之一。

本书邀请了 5 所大学环境工程专业教学经验丰富的老师参与编写。环境工程学是一门专业的学科基础课，在环境工程专业学生进行专业课学习之前，首先通过环境工程学基础这门课的学习对本专业有一个宏观总体的认识，并为以后更深入地学习打下良好的基础。本书主要是通过通过对理论基础和工程技术的阐述，使学生对环境工程学有全面的了解，并初步掌握污染控制工程和公害防治技术的基本原理和基本方法。

全书分为上下两篇，共九章。首先是绪论（东北大学胡筱敏，辽宁大学杨春璐），上篇为理论篇，包括生态学基础（辽宁大学张利红）、可持续发展（沈阳工业大学王新、辽宁大学张利红）、环境监测与环境质量评价（沈阳工业大学梁吉艳，辽宁大学杨春璐）；下篇为工程篇，包括水污染控制工程（沈阳大学李海波、辽宁大学张利红）、大气污染控制工程（辽宁大学杨春璐）、固体废物的处理与处置工程（沈阳工业大学张林楠）、噪声及其它物理污染的控制（沈阳工业大学李艳平）和土壤污染控制工程（沈阳航空航天大学可欣）。全书由王新统稿。

本书不仅可以作为环境科学与环境工程等专业师生的教材，也可供从事环境保护工作的有关技术人员学习参考。本书在编写过程中，参阅了国内外有关文献和资料，在此向相关作者致谢，并向为本书的出版付出辛勤劳动的编辑、工作人员表示衷心的感谢。

由于本书内容涉及领域广泛，加之编者时间和水平有限，疏漏之处在所难免，恳请读者给予批评指正。

编者
2011. 4

目 录

绪论	1
第一节 环境及环境问题	1
一、环境的概述	1
二、环境问题	2
第二节 环境工程学	5

一、环境工程学的历史	5
二、环境工程学的定义	6
三、环境工程主要的研究内容	6
习题与思考题	7

上篇 理 论 篇

第一章 生态学基础	8
第一节 生态系统	8
一、生态系统的定义	8
二、生态系统的特征	9
三、生态系统的功能	10
第二节 生态平衡	15
一、生态平衡的定义	15
二、影响生态平衡的因素	17
三、生态失衡	19
第三节 生态城市	20
一、城市生态系统	20
二、生态城市的特征	21
三、生态城市的标准	23
四、中国特色的生态城市	30
习题与思考题	35
第二章 可持续发展	36
第一节 可持续发展的形成	36
一、早期的反思	36
二、人类的觉醒	37
三、可持续发展的提出	39
四、重要的里程碑	39

第二节 可持续发展的内涵及原则	39
一、可持续发展的内涵	39
二、可持续发展的概念	41
三、可持续发展理论的基本内容和原则	42
第三节 环境与可持续发展	43
一、环境的影响及承载力	43
二、传统发展中存在的环境问题	44
三、中国走可持续发展道路的必然性	44
四、中国环境可持续发展战略的实施	45
习题与思考题	48
第三章 环境监测与环境质量评价	49
第一节 环境监测	49
一、环境监测概述	49
二、环境监测的内容	50
第二节 环境质量评价	53
一、环境质量评价概述	53
二、环境质量回顾评价	53
三、环境质量现状评价	53
四、环境影响评价	54
五、环境风险评价	57
习题与思考题	57

下篇 工 程 篇

第四章 水污染控制工程	59
第一节 水污染概述	59
一、水体污染源及污染物	59
二、水体的自净作用	60
三、水体污染指标	61
四、水质标准	63
第二节 物理处理法	63
一、过滤法	64

二、沉淀法	65
第三节 生物处理法	69
一、活性污泥法	69
二、生物膜法	76
第四节 物理化学及化学法	78
一、物理化学法	78
二、化学法	87
第五节 污水中氮、磷的去除	94

一、脱氮	94	六、有毒有害固体废物的化学处理和 固化	172
二、除磷	99	第三节 固体废物资源化利用与最终 处理	173
三、同步脱氮除磷技术	102	一、固体废物的热处理技术	173
第六节 污水的生态处理	105	二、固体废物的填埋技术	177
一、稳定塘	105	三、固体废物的最终处置技术	180
二、人工湿地	107	习题与思考题	182
三、土地处理	109	第七章 噪声及其它物理污染的控制 ..	183
习题与思考题	113	第一节 噪声污染概述	183
第五章 大气污染控制工程	114	一、噪声的来源及危害	183
第一节 大气污染概述	114	二、噪声的评价和标准	185
一、大气的组成	114	第二节 噪声污染控制	185
二、大气污染	114	一、严格行政管理	186
三、大气污染物及污染源	114	二、合理规划布局	186
四、大气污染的类型	116	三、采取噪声控制技术	186
五、大气环境标准及污染控制措施	117	第三节 其它物理污染及防护	187
第二节 颗粒污染物的控制	120	一、电磁辐射污染及防护	187
一、颗粒污染物控制技术基础	120	二、放射性污染及防护	189
二、机械除尘器	126	三、热污染及防护	192
三、静电除尘器	130	四、光污染及防护	194
四、袋式除尘器	133	五、振动危害及控制	197
五、湿式除尘器	136	习题与思考题	197
第三节 气态型污染物的控制	140	第八章 土壤污染控制工程	199
一、冷凝分离	141	第一节 土壤污染概述	199
二、燃烧	142	一、土壤污染的定义和特点	199
三、吸收净化	143	二、土壤污染的类型及来源	200
四、吸附净化	146	三、工业固废和城市垃圾	201
五、催化转化	150	四、农药化肥施用	201
六、生物净化	152	五、土壤自然净化过程	201
七、气体污染物控制新技术	155	第二节 土壤污染的危害	202
习题与思考题	156	一、重金属与土壤污染	202
第六章 固体废物的处理与处置工程 ..	158	二、土壤农药污染	206
第一节 固体废物污染概述	158	三、土壤中的多环芳烃污染	209
一、固体废物的来源及分类	158	四、土壤中多氯联苯的污染	213
二、固体废物的性质	159	五、石油对土壤的污染	216
三、固体废物的危害	160	第三节 污染土壤修复技术	217
第二节 固体废物的处理技术	162	一、物理修复技术	218
一、固体废物的收集与运输	162	二、土壤化学/物化修复技术	219
二、固体废物的压实技术	165	三、污染土壤生物修复技术	225
三、固体废物的破碎	166	四、污染土壤修复的发展趋势	230
四、固体废物的分选技术	168	习题与思考题	230
五、固体废物的脱水和干燥	172		
参考文献			232

绪 论

第一节 环境及环境问题

一、环境的概述

1. 环境的定义

任何事物的存在都要占据一定的空间和时间，并必然要和其周围的各种事物发生联系。我们把与其周围诸事物间发生各种联系的事物称为中心事物，而把该事物所存在的空间以及位于该空间中诸事物的总和称为该中心事物的环境。环境不仅总是相对于中心事物而言并存在的，而且是一个可变的概念，它要随所研究的对象，即中心事物的变化而变化。宇宙中的一切事物都有其自身的环境，而它同时又可以成为其它诸事物环境的组成部分。因而，环境是一个极其复杂、相互影响、彼此制约的辩证的自然综合体。

我们所研究的环境，总是以人类作为中心事物的自然环境。自古以来，人类就与其周围诸事物发生着各种联系，其生存繁衍的历史可以说是人类社会同大自然相互作用、共同发展和不断进化的历史。人类的环境是作用于人类这一主体（中心事物）的所有外界影响和力量的总和，它可分为社会环境和自然环境两种。社会环境指人们生活的社会经济制度和上层建筑，包括构成社会的经济基础及其相应的政治、法律、宗教、艺术、哲学和机构等，以及人类定居、人类社会发展各阶段和城市建设发展状况等，它是人类在从事物质资料的生产和消费过程中，由于共同进行生产劳动、求取生存和发展而建立起来的生产关系的总和。自然环境指环绕于我们周围的各种自然因素的总和，是人类赖以生存和发展必不可少的物质条件。目前所研究的自然环境通常是适宜于生物生存和发展的地球表面的一薄层，即生物圈。它包括大气圈、水圈和岩石土壤圈等在内一切自然因素（如气候、地理、地质、水文、土壤、水资源、矿产资源和野生动物等）及其相互关系的总和。

在不同的学科中，环境一词的科学定义也不相同，其差异源于主体的界定。对于环境科学而言，“环境”的含义应是：“以人类社会为主体的外部世界的总体。”这里所说的外部世界主要指：人类已经认识到的，直接或间接影响人类生存与社会发展的周围事物。它既包括未经人类改造过的自然界众多要素，如阳光、空气、陆地（山地、平原等）、土壤、水体（河流、湖泊、海洋等）、天然森林和草原、野生生物等；又包括经过人类社会加工改造过的自然界，如城市、村落、水库、港口、公路、铁路、空港、园林等。它既包括这些物质性的要素，又包括由这些要素所构成的系统及其所呈现出的状态。

目前，还有一种为适应某些方面工作的需要而给“环境”下的定义，它们大多出现在世界各国颁布的环境保护法规中。例如，我国的环境保护法中明确规定：“本法所称环境是指大气、水、土地、矿藏、森林、草原、野生动物、野生植物、水生植物、名胜古迹、风景游览区、温泉、疗养区、自然保护区、生活居住区等”。这是一种把环境中应当保护的要素或对象界定为环境的定义，其目的是从实际工作的需要出发，对环境一词的法律适用对象或适用范围做出规定，以保证法律的准确实施。

2. 环境的承载力

承载力 (Carrying Capacity, CC) 是用以限制发展的一个最常用概念。

“环境承载力”一词的出现,最初是用来概述环境对人类活动所具有的支持能力的。众所周知,环境是人类生产的物质条件,是人类社会存在和发展的物质载体,它不仅为人类的各种活动提供空间场所,同时也供给这些活动所需要的物质资源和能量。这一客观存在反映出环境对人类活动具有支持能力。正是在认识到环境的这种客观属性的基础上,20世纪70年代,“环境承载力”一词开始出现在文献中。

环境问题的出现,具体原因是多样的,人口过多,对环境的压力太大;生产过程资源利用率低,造成资源浪费及污染物的大量产生;毁林开荒,引起生态失调等。这些均是促成环境问题形成和发展的动因。这些原因都可以归结为人类社会经济活动,因此,可以说,环境问题的产生是由于人类社会经济活动超越了环境的“限度”而引起的。

1991年,北京大学等的研究人员在湄洲湾环境规划的研究中,科学定义了“环境承载力”的含义,即环境承载力是指在某一时期,某种状态或条件下,某地区的环境所能承受人类活动作用的阈值。因此环境承载力的大小可以以人类活动作用的方向、强度和规模来加以反映。不同地区,不同人类开发活动水平将对该地区的环境产生不同程度的影响,开发强度不够,社会生产力低下,会直接影响人民群众的生活水平,开发强度过大,又会影响、干扰以致破坏人类赖以生存的环境,反过来会制约社会生产力。因此,人类必须掌握环境系统的运动变化规律,了解发展中经济与环境相互制约的辩证关系,在开发活动中做到发展生产与保护环境相协调,既要高速发展生产,又不破坏环境,或是经过人工改造,使环境朝着人类进步的方向发展,促使人类文明不断提高,自然资源永续利用。

二、环境问题

1. 环境问题的定义

环境问题是指由于人类活动作用于周围环境所引起的环境质量变化以及这种变化对人类的生产、生活和健康造成的影响。人类在改造自然环境和创建社会环境的过程中,自然环境仍以其固有的自然规律变化着。社会环境一方面受自然环境的制约,也以其固有的规律运动着。人类与环境不断地相互影响和作用,产生环境问题。环境问题多种多样,归纳起来有两大类:一类是自然演变和自然灾害引起的原生环境问题,也叫第一环境问题。如地震、洪涝、干旱、台风、崩塌、滑坡、泥石流等。一类是人类活动引起的次生环境问题,也叫第二环境问题和“公害”。

2. 环境问题的高潮

环境问题的第一次高潮出现在20世纪50~60年代。20世纪50年代以后,环境问题更加突出,震惊世界的公害事件接连不断,世界著名的“八大公害事件”大多发生在本阶段(表0-1),形成了第一次环境问题高潮。

第二次高潮是伴随环境污染和大范围生态破坏,在20世纪80年代初开始出现的一次高潮。人们共同关心的影响范围大和危害严重的环境问题有三类:一是全球性的大气污染,如温室效应、臭氧层破坏和酸雨;二是大面积生态破坏,如大面积森林被毁、草场退化、土壤侵蚀和荒漠化;三是突发性的严重污染事件迭起。表0-2列出了近20年发生的公害事件次数和公害病人数。这些全球性大范围的环境问题严重威胁着人类的生存和发展,不论是广大公众还是政府官员,也不论是发达国家还是发展中国家,都普遍对此表示不安。1992年里约热内卢环境与发展大会正是在这种社会背景下召开的,这次会议是人类认识环境问题的又一里程碑。

表 0-1 世界著名“八大公害事件”

事 件	时间、地区和危害	主要污染物
马斯河谷事件	1930 年 12 月 1~5 日,比利时马斯河谷的气温发生逆转,工厂排出的有害气体和煤烟粉尘在近地大气层中积聚。3 天后,开始有人发病,一周内,60 多人死亡,还有许多家禽死亡。这次事件主要是由于几种有害气体和煤烟粉尘污染的综合作用所致,当时的大气中 SO_2 浓度高达 $25\sim 100\text{mg}/\text{m}^3$	粉尘、 SO_2 、CO
多诺拉事件	1948 年 10 月 26~31 日间,美国宾夕法尼亚州的多诺拉小镇,大部分地区持续有雾,致使全镇 43% 的人口(5911 人)相继发病,其中 17 人死亡。这次事件是由二氧化硫与金属元素、金属化合物相互作用所致,当时大气中 SO_2 浓度高达 $0.5\times 10^{-6}\sim 2.0\times 10^{-6}\text{mg}/\text{m}^3$,并发现有尘粒	SO_2 、CO、As、Pb 等
伦敦烟雾事件	1952 年 12 月 5~8 日,素有“雾都”之称的英国伦敦,突然有许多人患起呼吸系统疾病,并有 4000 多人相继死亡。此后两个月内,又有 8000 多人死亡。这起事件原因是,当时大气中尘粒浓度高达 $4.46\text{mg}/\text{m}^3$,是平时的 10 倍, SO_2 浓度高达 $1.34\times 10^{-6}\text{mg}/\text{m}^3$,是平时的 6 倍	SO_2 、粉尘
洛杉矶光化学烟雾事件	1936 年在洛杉矶开采出石油后,刺激了当地汽车业的发展。至 20 世纪 40 年代初期,洛杉矶市已有 250 万辆汽车,每天消耗约 1600 万升汽油,但由于汽车汽化率低,每天有大量碳氢化合物排入大气中,受太阳光的作用,形成了浅蓝色的光化学烟雾,使这座本来风景优美、气候温和的滨海城市成为“美国的雾城”。这种烟雾刺激人的眼、喉、鼻,引发眼病、喉头炎和头痛等症状,致使当地死亡率增高,同时,又使远在百里之外的柑橘减产,松树枯萎	光化学烟雾、 O_3 、NO、 NO_2
水俣病事件	日本一家生产氮肥的工厂从 1908 年起在日本九州南部水俣市建厂,该厂生产流程中产生的甲基汞化合物直接排入水俣湾。从 1950 年开始,先是发现“自杀猫”,后是有人生怪病,因医生无法确诊而称之为“水俣病”。经过多年调查才发现,此病是由于食用水俣湾的鱼而引起。水俣湾因排入大量甲基汞化合物,在鱼的体内形成高浓度的积累,猫和人食用了这种被污染鱼类就会中毒生病	甲基汞($\text{CH}_3\text{-Hg}$)
痛痛病事件	20 世纪 50 年代日本三井金属矿业公司在富山平原的神通川上游开设炼锌厂,该厂排入神通川的废水中含有金属镉,这种含镉的水又被用来灌溉农田,使稻米含镉。许多人因食用含镉的大米和饮用含镉的水而中毒,全身疼痛,故称“痛痛病”。据统计,在 1963~1968 年 5 月,共有确诊患者 258 人,死亡人数达 128 人	Cd 等
四日哮喘事件	20 世纪五六十年代日本东部沿海四日市设立了多家石油化工厂,这些工厂排出的含 SO_2 、金属粉尘的废气,使许多居民患上哮喘等呼吸系统疾病而死亡。1967 年,有些患者不堪忍受痛苦而自杀,到 1970 年,患者已达 500 多人	SO_2 、粉尘
米糠油事件	1968 年,日本九州爱知县一带在生产米糠油的过程中,由于生产失误,米糠油中混入了多氯联苯,致使 1400 多人食用后中毒,4 个月后,中毒者猛增到 5000 余人,并有 16 人死亡。与此同时,用生产米糠油的副产品黑油做家禽饲料,又使数十万只鸡死亡	多氯联苯(PCB)

前后两次高潮有很大的不同,有明显的阶段性。

① 影响范围不同。第一次高潮主要出现在工业发达国家,重点是局部性、小范围的环境污染问题,如城市、河流、农田等;第二次高潮则是大范围乃至全球性的环境污染和大面积生态破坏。这些环境问题不仅对某个国家、某个地区造成危害,而且对人类赖以生存的整个地球环境造成危害。这不但包括了经济发达的国家,也包括了众多发展中国家。发展中国家不仅认识到全球性环境问题与自己休戚相关,而且本国面临的诸多环境问题,特别是植被破坏、水土流失和荒漠化等生态恶性循环,是比发达国家的环境污染危害更大、更难解决的环境问题。

表 0-2 近 20 年来发生的严重公害事件

事 件	发生事件	发生地点	产生危害	产生原因
阿摩柯卡的斯油轮泄油事件	1978 年 3 月	法国西北部布列塔尼半岛	藻类、湖间带动物、海鸟灭绝	油轮触礁, $2.2 \times 10^5 \text{t}$ 原油入海
三哩岛核电站泄漏事件	1979 年 3 月	美国宾夕法尼亚州	直接经济损失超过 10 亿美元	核电站反应堆严重失水
威尔士饮用水污染事件	1985 年 1 月	英国威尔士州	200 万居民饮用水污染, 44% 的人中毒	化工公司将酚排入迪河
墨西哥油库爆炸事件	1984 年 11 月	墨西哥	4200 人受伤, 400 人死亡, 10 万人要疏散	石油公司油库爆炸
博帕尔农药泄漏事件	1984 年 12 月	印度中央邦博帕尔市	2 万人严重中毒, 1408 人死亡	45t 异氰酸甲酯泄漏
切尔诺贝利核电站泄漏事故	1986 年 4 月	前苏联乌克兰	203 人受伤, 31 人死亡, 直接经济损失 30 亿美元	4 号反应堆机房爆炸
莱茵河污染事件	1986 年 11 月	瑞士巴塞尔市	事故段生物绝迹, 160km 内鱼类死亡, 480km 内的水不能饮用	化学公司仓库起火, 30t 硫、磷、汞等剧毒物进入河流
莫农格希拉河污染事件	1988 年 11 月	美国	沿岸 100 万居民生活受到严重影响	石油公司油罐爆炸, $1.3 \times 10^4 \text{m}^3$ 原油进入河流
埃克森瓦尔迪兹油轮泄漏事件	1989 年 3 月	美国阿拉斯加	海域严重污染	漏油 $4.2 \times 10^4 \text{t}$

② 就危害后果而言, 前次高潮人们关心的是环境污染对人体健康的影响, 环境污染虽也对经济造成损害, 但问题还不突出; 第二次高潮不但明显损害人类健康, 每分钟因水污染和环境污染而死亡的人数全世界平均达到 28 人, 而且全球性的环境污染和生态破坏已威胁到全人类的生存与发展, 阻碍经济的持续发展。

③ 就污染源而言, 第一次高潮的污染来源尚不太复杂, 较易通过污染源调查弄清产生环境问题的来龙去脉。只要一个城市、一个工矿区或一个国家下决心, 采取措施, 污染就可以得到有效控制。第二次高潮出现的环境问题, 污染源和破坏源众多, 不但分布广, 而且来源杂, 既来自人类的经济再生产活动, 也来自人类的日常生活活动; 既来自发达国家, 也来自发展中国家, 解决这些环境问题只靠一个国家的努力很难奏效, 要靠众多国家甚至全球人类的共同努力才行, 这就极大地增加了解决问题的难度。

④ 第一次高潮的“公害事件”与第二次高潮的突发性严重污染事件也不相同。一是带有突发性, 二是事故污染范围大、危害严重、经济损失巨大。例如: 印度博帕尔农药泄漏事件, 受害面积达 40 平方公里, 据美国一些科学家估计, 死亡人数在 0.6 万~1 万人, 受害人数为 10 万~20 万人, 其中有许多人双目失明或终生残废, 直接经济损失数十亿美元。

3. 当前面临的主要的环境问题

当前人类所面临的主要环境问题是人口问题、资源问题、生态破坏问题和环境污染问题。它们之间相互关联、相互影响, 成为当今世界环境科学所关注的主要问题。

(1) 人口问题 人口的急剧增加可以认为是当前环境的首要问题。近百年来, 世界人口的增长速度达到了人类历史上的最高峰, 目前世界人口已达 60 亿! 众所周知, 人既是生产者, 又是消费者。从生产者的人来说, 任何生产都需要大量的自然资源来支持, 如农业生产要有耕地, 工业生产要有能源、各类矿产资源、各类生物资源等。随着人口增加、生产规模的扩大, 一方面所需要的资源要继续或急剧增大; 另一方面在任何生产中都将有废物排出, 而随着生产规模的增大而使环境污染加重。从消费者的人类来说, 随着人口的增加、生活水

平的提高,则对土地的占用(住、生产食物)越大,对各类资源如不可再生的能源和矿物、水资源等的需求也急剧增加,当然排出的废弃物量也增加,也加重环境污染。我们都知道,地球上一切资源都是有限的,即使是可恢复的资源如水,可再生的生物资源,也是有一定的再生速度,在每年中是有一定可供量的。而其中尤其是土地资源不仅是总面积有限,人类难以改变,而且还是不可迁移的和不可重叠利用的。这样,有限的全球环境及其有限的资源,便限定地球上的人口也必将是有限的。如果人口急剧增加,超过了地球环境的合理承载能力,则必造成生态破坏和环境污染。这些现象在地球上的某些地区已出现了,并正是我们要研究和改善的问题。

(2) 资源问题 资源问题是当今人类发展所面临的另一个主要问题。众所周知,自然资源是人类生存发展不可缺少的物质依托和条件。然而,随着全球人口的增长和经济的发展,对资源的需求与日俱增,人类正受到某些资源短缺或耗竭的严重挑战。全球资源匮乏和危机主要表现在:土地资源在不断减少和退化,森林资源在不断缩小,淡水资源出现严重不足,生物多样性在减少,某些矿产资源濒临枯竭等。

(3) 生态破坏 生态破坏是指人类不合理地开发、利用自然资源和兴建工程项目而引起的生态环境的退化及由此而衍生的有关环境效应,从而对人类的生存环境产生不利影响的现象。全球性的生态环境破坏主要包括森林减少、土地退化、水土流失、沙漠化、物种消失等。

(4) 环境污染 环境污染作为全球性的重要环境问题,主要指的是温室气体过量排放造成的气候变化、臭氧层破坏、广泛的大气污染和酸沉降、有毒有害化学物质的污染危害及其越境转移、海洋污染等。

第二节 环境工程学

一、环境工程学的历史

环境工程学是在人类同环境污染做斗争、保护和改善生存环境的过程中形成的。从开发和保护水源来说,中国早在公元前 2300 年前后就创造了凿井技术,促进了村落和集市的形成。后来为了保护水源,又建立了持刀守卫水井的制度。

从给排水工程来说,中国在公元前 2000 多年以前就用陶土管修建了地下排水道。古代罗马大约在公元前 6 世纪开始修建地下排水道。中国在明朝以前就开始采用明矾净水。英国在 19 世纪初开始用砂滤法净化自来水;在 19 世纪末采用漂白粉消毒。在污水处理方面英国在 19 世纪中叶开始建立污水处理厂;20 世纪初开始采用活性污泥法处理污水。此后,卫生工程、给水排水工程等逐渐发展起来,形成一门技术学科。在大气污染控制方面,为消除工业生产造成的粉尘污染,美国在 1885 年发明了离心除尘器。进入 20 世纪以后,除尘、空气调节、燃烧装置改造、工业气体净化等工程技术逐渐得到推广应用。在固体废物处理方面,历史更为悠久。约在公元前 3000~公元前 1000 年,古希腊即开始对城市垃圾采用了填埋的处置方法。在 20 世纪,固体废物处理和利用的研究工作不断取得成就,出现了利用工业废渣制造建筑材料等工程技术。在噪声控制方面,中国和欧洲一些国家的古建筑中,墙壁和门窗位置的安排都考虑到了隔声的问题。在 20 世纪,人们对控制噪声问题进行了广泛的研究,从 50 年代起,建立了噪声控制的基础理论,形成了环境声学。

20 世纪以来,根据化学、物理学、生物学、地学、医学等基础理论,运用卫生工程、给排水工程、化学工程、机械工程等技术原理和手段,解决废气、废水、固体废物、噪声污

染等问题,使单项治理技术有了较大的发展,逐渐形成了治理技术的单元操作、单元过程以及某些水体和大气污染治理工艺系统。

20 世纪 50 年代末,中国提出了资源综合利用的观点。60 年代中期,美国开始了技术评价活动,并在 1969 年的《国家环境政策法》中,规定了环境影响评价的制度。至此,人们认识到控制环境污染不仅要采用单项治理技术,而且还要采取综合防治措施和对控制环境污染的措施进行综合的技术经济分析,以防止在采取局部措施时与整体发生矛盾而影响清除污染的效果。

在这种情况下,环境系统工程和环境污染综合防治的研究工作迅速发展起来。随后,陆续出现了环境工程学的专门著作,形成了一门新的学科。

二、环境工程学的定义

环境工程学是一个庞大而复杂的技术体系。它不仅研究防治环境污染和公害的措施,而且研究自然资源的保护和合理利用,探讨废物资源化技术、改革生产工艺、发展少害或无害的闭路生产系统以及按区域环境进行运筹学管理,以获得较大的环境效果和经济效益,这些都成为环境工程学的重要发展方向。

由于目前人们对环境工程学的定义和基本内容有不同的看法,使得环境工程学的定义有两种版本,即广义的定义和狭义的定义。广义的定义是“综合运用环境科学的基础理论和有关的工程技术,控制和改善环境质量”。这样,小环境的控制和调节、“三废”治理、区域性环境评价和综合防治等都包括在内。狭义的定义是“环境工程学是环境污染控制工程,即是对环境污染物的监测、控制和处理的工程”,此处的污染物指的是引起环境质量降低的工业废弃物、农业废弃物、生活废弃物、噪声、电磁辐射、废热等。实际上环境工程学主要是指用狭义定义来确定其基本研究内容的学科。

它主要研究运用工程技术和有关学科的原理和方法,保护和合理利用自然资源,防治环境污染,以改善环境质量。环境工程学是在人类同环境污染做斗争、保护和改善生存环境的过程中形成的。

三、环境工程主要的研究内容

尽管对环境工程学的研究内容有不同的看法,但是从环境工程学发展的现状来看,其基本内容主要有水污染防治工程、大气污染防治工程、固体废物的处理和利用、环境污染综合防治、环境监测和环境评价等几个方面。

(1) 水污染控制工程 它的主要任务是研究预防和治理水体污染、保护和改善水环境质量、合理利用水资源以及提供不同途径和要求的用水工艺技术和工程措施。主要研究领域包括水体自净、城市污水处理与利用、工业废水处理与利用、给水净化处理、城市区域和水系的水污染综合整治、水环境质量和废水排放标准。

(2) 大气污染控制工程 它的主要任务是研究预防和控制大气污染、保护和改善大气质量的工程技术措施,其主要研究领域包括大气质量管理、烟尘治理技术、气体污染物治理技术、酸雨的成因与防治、城市区域大气污染物综合整治、大气质量标准和废气排放标准等。

(3) 固体废物处理与处置 它的主要任务是研究城市垃圾、工业垃圾、放射性及其它有毒有害固体废物的处理、处置和回收利用资源化等的工艺技术措施。其主要研究领域包括固体废物管理、固体废物无害化处理、固体废物的综合利用和资源化、放射性及其它有毒有害废物的处理。

(4) 噪声、振动及其它公害防治技术 它主要研究声音、振动、电磁辐射、热污染、光

污染等对人类的影响及消除这些影响的技术途径和控制措施。

(5) 环境规划、管理和环境系统工程 它的主要任务是利用系统工程的原理和方法,对区域性的环境问题和防治技术措施进行整体的系统分析,以求取得综合整治的优化方案,进行合理的环境规划、设计整理,它也研究环境工程单元过程系统的优化工艺条件,并用计算机技术进行设计、运行管理。

(6) 环境监测和环境评价 它的主要任务是研究环境中污染物的性质、成分、来源、含量和分布、状态、变化趋势以及对环境的影响,在此基础上,按一定的标准和方法对环境质量进行定量的判定、解释和预测。此外,它还研究某项工程建设及资源开发引起的环境质量变化及其对人类生活的影响。

环境工程学是一个庞大而复杂的技术体系。它不仅研究防治环境污染和公害的措施,而且研究自然资源的保护和合理利用,探讨废物资源化技术、改革生产工艺、发展少害或无害的闭路生产系统,以及按区域环境进行运筹学管理,以获得较大的环境效果和经济效益,这些都成为环境工程学的重要发展方向。

习题与思考题

1. 什么是环境?
2. 什么是环境承载力?
3. “八大公害事件”具体指哪些事件?
4. 水俣病的发病症状及原因是什么?
5. 光化学烟雾事件与烟雾事件之间有什么不同?
6. 第一次与第二次环境问题有哪些异同点?
7. 当前世界面临的主要环境问题有哪些?
8. 什么是环境工程学?
9. 环境工程的主要研究内容是什么?
10. 谈谈环境工程未来的发展趋势及前景。

上篇 理 论 篇

第一章 生态学基础

第一节 生态系统

一、生态系统的定义

生态系统 (ecosystem) 就是在一定空间中共同栖居着的所有生物 (即生物群落) 与其环境之间由于不断地进行物质循环和能量流过程而形成的统一整体。地球上的森林、草原、荒漠、海洋、湖泊、河流等, 不仅它们的外貌有区别, 生物组成也各有其特点, 并且其中生物和非生物构成了一个相互作用、相互依赖的统一整体。例如, 森林中的乔木、灌木、草被等绿色植物, 利用日光能将二氧化碳、水和矿物质借叶绿素之助而形成有机物质, 昆虫、鼠、鹿等食草动物就依赖这些绿色植物而生存。进而食草动物又成为瓢虫、鼬、虎等食肉动物的物质和能量的来源。通过这些营养和其它联系, 把森林中的各种生物和非生物条件联成一个整体。在这个整体中, 物质不断地循环, 能量不停地流动。为了强调这种统一性, 生态学家就把这样的统一体称为生态系统。生态系统的边界是根据研究范围而定的, 小至一个鱼塘, 大至整个生物圈, 都可以看做是一种生态系统。

典型的生态系统由生命有机体与其非生物环境组成 (图 1-1)。

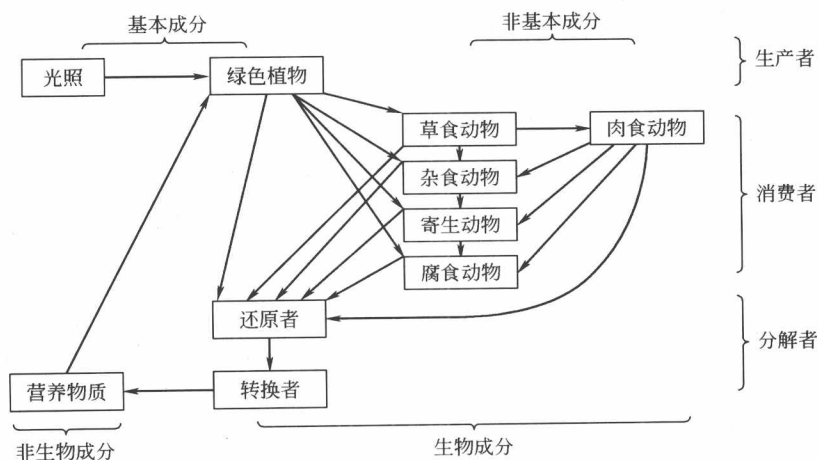


图 1-1 生态系统的组成及结构 (仿 G. L. Clark, 1954)

1. 生命有机体

生命有机体包括植物、动物、微生物。根据它们在物质与能量运动中所起的作用, 可以

大致分为生产者、消费者和分解者三大类。

(1) 生产者 它们由绿色植物和具有化能合成及能进行光合作用的细菌组成。绿色植物是生物圈最重要的生产者,它们能利用太阳能把水和二氧化碳合成为有机物,为生物圈的生命有机体提供了丰富的食物。此外,有些细菌还具有非凡本领,能把无机物转化为有机物。虽然这类细菌合成的有机物在整个生物圈中占的比重很小,但是它们在生命进化过程中起着巨大的作用。它们在生命的起源中扮演着先锋和开拓者的作用,即使在生物繁衍的现在,这些细菌在维持特定生态系统的物流与能流的运转中仍起着重要的作用。例如在海洋深处的一些细菌,它们的化能合成作用为生活在黑暗的大海深处的生物提供了食物源。

(2) 消费者 是指依赖生产者提供食物的动物(包括人类)和寄生性生物。根据消费者的食性可分为三类。一是植食动物,它们是以直接获取植物为生的动物,如羊、马、象、昆虫等。二是肉食动物,它们是以获取动物为生的动物,如虎、狼、蛇等。三是杂食性动物,它们是既能以植物又能以动物为食的动物,如熊、鲤及人类等。四是寄生动物,它们寄生于其它动、植物体上,靠吸取寄主营养为生,如赤眼蜂和金小蜂。赤眼蜂寄生在螟虫的卵块中;金小蜂产卵在棉铃虫体内,孵化后的幼虫吸取棉铃虫体内的养分生活。五是腐食动物,它们以腐烂的动、植物残体为食,如蝇蛆和秃鹰等。

(3) 分解者 它们主要由细菌、真菌及某些原生动物等组成。它们营腐生生活,以分解有机物为生,从生态系统中的废弃物和动植物的残骸中取得它们所需要的能量。分解者在生态系统和生物圈中起的作用也是巨大的。它们把植物、动物中复杂的有机物还原为较简单的化合物和元素,并释放、归还到环境中去,供生产者再利用,故有时又称它们为还原者。

由于自然生态系统纷繁复杂,生态系统中生物成员的划分也不是绝对的,有时甚至很难区分,如植物可吃动物,捕食草专吃昆虫,有些鞭毛虫(如眼虫)既是自养生物又是异养生物。

2. 非生物的环境

非生物环境是生态系统中生物赖以生存的物质和能量的源泉及活动的场所。按其对生物的作用,可分为以下几种。

(1) 原料部分 主要为通过大气层及到达地表的光、氧、二氧化碳、水、无机盐类及生命的有机物质等。

(2) 代谢过程的媒介部分 水、土壤、温度和风等。

(3) 基层部分 岩石和土壤等。

在这里需要指出的是,并非所有的生态系统都由上述几个部分组成,有些生态系统可能只包括其中的一部分。但是,只要具有生命有机体和环境就算是一个生态系统。例如,农田生态系统通常由农作物(生产者)、微生物(还原者)与环境(如土壤及农田气候等)组成,可能没有明显的消费者(也可能有一些昆虫,通常它们在农田生态系统总的生物量中占的比重很小,可以忽略不计)。人工林生态系统也类似于农田生态系统。

二、生态系统的特征

由于生态系统的组成中含有生命成分,并且生物群落是生态系统的核心,这就赋予生态系统以生命特征,使生态系统成为一般系统的特殊形态,其组成、结构、功能、调控及研究方法等都具有不同于一般系统的特点。

① 生态系统是一个生态学单位,包括了生物和非生物成分。

② 生态系统具有空间结构。由于生物及其所处的环境是实实在在的实体,所以生态系

统通常与一定的空间相联系,反应一定的地区特性及空间结构。往往以生物为主体,呈网络式的多维空间结构。这区别于意识形态的系统或虚拟系统。

③ 生态系统具有时间变化。生态系统中的生物随着时间变化具有产生、发展、死亡的变化过程,而且环境也处于不断的演变、更替中,从而使得生态系统和自然界许多生物一样,具有发生、形成和发展的过程,具有发育、繁殖、生长和衰亡的特征。生态系统可分为幼年期、成长期和成熟期,并表现出鲜明的历史性特点和特有的整体演化规律。换言之,任何一个自然生态系统都是经过长期历史发展而成的。

④ 生态系统具有明确的功能。生态系统本质上是功能单位,其功能通过物质循环、能量流动和信息传递来完成,物质在自然界是不灭的,而是按一定的途径进行不断的循环;能量从一个营养级转到另一个营养级的过程中,有相当大的一部分被消耗;生态系统中生物与环境、生物与生物通过一系列信息取得联系,生物在信息的影响下做出相应的反应及行为变化。

⑤ 生态系统具有自动调控机能。自然生态系统中的生物与其所处的环境条件经过长期的进化适应,逐渐建立了相互协调的关系。生态系统的自动调控机能主要表现在三个方面:第一是同种生物的种群密度的调控,这是在有限空间内比较普遍存在的种群变动规律;第二是异种生物种群之间的数量调控,多出现于植物与动物、动物与动物之间,常有食物链关系;第三是生物与环境之间的相互适应的调控,这些调控常通过反馈调节机制使生物与生物、生物与环境间达到功能上的协调和动态平衡。

⑥ 生态系统是开放系统。各类生态系统都是不同程度的开放系统,不断地从外界输入能量和物质,经过转换而成为输出,从而维持系统的有序状态。

三、生态系统的功能

生态系统的功能包含的内容极为丰富。下面主要从生物生产力及物质循环、能量流动、信息传递几个方面加以介绍。

1. 生物生产力

生物生产力是生态系统的重要功能之一。在生态系统中绿色植物通过光合作用制造与积累有机物的速率,叫做第一性生产力或初级生产力;而植食性动物及真菌、细菌和某些原生动物等异养有机体利用和释放绿色植物固定的太阳能而形成的第二性生物物质的重量,则称为第二性生物生产力或次级生产力。第一性生产力又可分为总第一性生产力(简称总生产力)和净第一性生产力(简称净生产力)。前者系指单位时间、单位面积自养生物生产的全部有机物的干重,后者则是指除去生物自身因呼吸作用所消耗的干物质后的净积累速率。

还有一个重要的概念是生物量。生物量区别于生产力,生物量是生态系统内生物所积累的干物质现存量,它是随着生物群落和生长发育过程的增加而增加的,也就是说,随着生物群落年龄的加大而增加。生产力只是生物群落干物质积累的一种速率,年龄大的生物个体虽然生物量大,但生产力可能较少。一般而言,生物个体在幼龄期生产力较高,但是其生物量很低;而到成熟期或老龄期,生物量达到最高值,但是其生产力却很低。

第一性生产力在生物圈中和各种生态系统的分布是不相同的,一般而言,陆地生产力高于海洋生产力。表 1-1 是生物圈主要生态系统的净第一性生产力和生物量。

生物圈中的生物总量,陆地占 99% 以上,海洋中的生物总量相对要少得多。海洋平均净生产力较低,仅为陆地净生产力的 1/4,而且集中分布于大陆或岛屿附近的浅水海域。90% 以上的深海中的生产力是很低的,只相当于陆地生态系统中的冻原和荒漠的水平。

陆地生态系统中生物总量约为 $1.832 \times 10^9 \text{ t}$ ，其中森林生态系统生物量达 $1.648 \times 10^9 \text{ t}$ ，占整个陆地生物总量的 90% 左右。全部陆地生态系统每年提供的净生产量约为 $107 \times 10^9 \text{ t}$ ，其中森林提供的干物质约占 65%。因此，森林生态系统在制造有机物、维持生物圈物流和能流的运转中起着重要作用。

奥得姆 (Odum, 1959) 根据生物圈中各种类型生态系统生产力的高低划分为下列 4 个等级：一级生产力最低，如荒漠和深海，通常为 $0.1 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，最高一般不超过 $0.5 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ；二级较低，如山地森林、热带稀树草原、某些耕地、半干旱草原、深湖和大陆架，平均生产力约为 $0.5 \sim 3 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ；三级较高，如热带雨林、农耕地和浅湖，平均生产力为 $3 \sim 10 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ；四级最高，少数特殊生态系统（如农业高产田和某些河漫滩、三角洲、珊瑚礁、红树林等）生产力约为 $10 \sim 20 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，最高者可达到 $25 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

表 1-1 主要生态系统的生物生产力表

生态系统类型	面积/ 10^6 km^2	平均净生产力 / $[\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$	世界净生产量 / (10^9 t/a)	平均生物量 / (kg/m^2)
热带雨林	17	2000	34	44
热带季雨林	7.5	1500	11.3	36
温带常绿林	5	1300	6.4	36
温带阔叶林	7	1200	8.4	30
北方针叶林	12	800	9.5	20
热带稀树干草原	15	700	10.4	4.0
农田	14	644	9.1	1.1
疏林和灌丛	8	600	4.9	6.8
温带草原	9	500	4.4	1.6
冻原和高山草甸	8	144	1.1	0.67
荒漠灌丛	18	71	1.3	0.67
岩石、冰和沙漠	24	3.3	0.09	0.02
沼泽	2	2500	4.9	15
湖泊和河流	2.5	500	1.3	0.02
大陆总计	149	720	107.09	12.3
藻床与礁石	0.6	2000	1.1	2
港湾	1.4	1800	2.4	1
水涌地带	0.4	560	0.22	0.02
大陆架	26.6	300	96	0.01
海洋	332	127	420	1
海洋总计	361	150	53	0.01
整个生物圈	510	320	162.1	3.62

注：引自史密斯 (Smith, 1976) Elements of Ecology and Field Biology。

2. 生态系统的物质循环

生物正常的生理功能离不开物质代谢，这就是生物与生物、生物与环境及环境与环境之间的物质流动过程。生物圈中的物质总是在不断地运动着，可以从一种形态变为另一种形