

高等学校教材

环境保护与综合利用

(修订本)

西安交通大学 张永照 合编
牛长山

机械工业出版社

再 版 前 言

本书是全国高等学校热能工程专业《环境保护与综合利用》试用教材修订本，原书1982年出版以来，已在校使用6年余，西安交通大学采用本教材进行教学近10遍，已有较丰富的教学实践。因此，根据热能工程专业教学指导委员会1987年西安会议决定，对本书进行修订并作为正式教材出版。

本书在修订时首先充实了基本内容。增加噪声污染与治理一章，使本书更能反映热能工程的实际需要。其余各章在环境质量评价、大气污染物生成机理、低污染燃烧技术、大气扩散模式理论、除尘脱硫脱硝技术等章节中都有不同程度的补充。其次是密切结合国内外实际，反映国内外环保新理论、新治理方法。随着科技和环保事业的发展，本书修订时删去了一些陈旧内容和环保标准。修订后的内容，既介绍环保基本理论和知识，又推荐新颖、实用的治理方法，并指出国内外环保发展新趋势。

本书共分七章。第1、2章介绍环境科学基本知识和大气污染物质及其危害；第3、4章介绍主要污染物生成机理和防治技术、方法和设备；第5章介绍灰渣处理技术；第6章介绍噪声污染基本知识和防治方法；第7章介绍常用的烟尘、 SO_2 、 NO_x 浓度和噪声声级测试方法。

本书由张永照教授（修订前言、第1、2、4、5、6、7章）、牛长山副教授（修订第3章）共同改编。改编过程中，曾得到高校、环保部门提供资料。改编稿完成后，由西安交通大学徐通模副教授审阅，提出了宝贵意见。对以上各位同志的辛勤劳动，作者一并表示感谢。

作者

1988年3月

目 录

第一章 环境科学基本知识	1
§ 1-1 环境科学的发展和我国环境保护方针	1
§ 1-2 人类和环境的关系——生态学	3
一、生物圈	4
二、生态系统	4
三、生态系统的物质循环和能量流动	4
§ 1-3 环境保护的目的和内容	6
一、大气污染及其防治	7
二、水污染及其防治	7
三、食物污染及其防治	8
四、土壤污染及其防治	8
§ 1-4 环境质量评价及有关标准	9
参考文献	12
第二章 大气污染的发生	13
§ 2-1 大气污染发生源和污染物质	13
§ 2-2 主要污染物质及其危害	16
一、粉尘	16
二、二氧化硫	16
三、氮的氧化物	18
四、碳氢化合物	19
五、一氧化碳	20
六、氟和氟化氢	20
七、硫化氢	21
§ 2-3 几种污染物的排放标准	22
参考文献	24
第三章 锅炉燃烧技术与环境保护	25
§ 3-1 烟尘的生成机理和控制	26
一、烟尘的分类和性质	26
二、烟尘的形成	26
三、影响烟尘产生的因素	28
四、烟尘的控制	31
§ 3-2 NO_x 的生成机理	34
一、温度型 NO_x 的生成机理及其控制原理	35
二、快速温度型 NO (Prompt NO) 的生成机理	38
三、燃料型 NO_x 的生成机理及其控制原理	41
四、 NO_2 的生成	44

五、NO 的分解	44
§ 3-3 SO ₂ 的生成机理	45
一、硫的氧化物的种类和性质	45
二、SO ₂ 的生成	46
三、硫酸	48
四、酸性尘 (Acid Smut) 的生成	50
五、白烟	51
§ 3-4 扩散燃烧过程中 NO _x 的生成特性	52
一、气体、液体燃料锅炉 NO _x 生成特性	53
二、燃煤锅炉 NO _x 生成特性	62
三、低 NO _x 燃烧技术概况	64
§ 3-5 温度型 NO _x 控制技术	66
一、低 NO _x 燃烧器	67
二、排烟再循环法	73
三、二段燃烧法	75
四、水乳化燃料燃烧法	79
§ 3-6 煤粉炉炉内脱硫	84
一、炉内脱硫原理	84
二、煤粉炉直接喷粉脱硫	86
§ 3-7 煤粉炉炉内脱氮	88
一、低 NO _x 煤粉燃烧器	88
二、边壁风四角燃烧器	90
三、PM 煤粉燃烧器	91
§ 3-8 沸腾炉炉内脱硫	94
一、普通沸腾炉炉内脱硫	94
二、普通沸腾炉二段燃烧时的脱硫	96
三、循环沸腾炉炉内脱硫	97
四、脱硫剂的再生	98
§ 3-9 沸腾炉炉内脱硝	99
一、普通沸腾炉炉内脱硝	99
二、普通沸腾炉二段燃烧法炉内脱硝	100
三、循环沸腾炉炉内脱硝	102
参考文献	103
第四章 燃烧烟气的净化和利用技术	106
§ 4-1 大气扩散	106
一、影响大气扩散的诸因素	106
二、大气扩散的几种类型	108
三、基本大气扩散方程	109
四、最大地面浓度和最大浓度距离	113
五、烟囱的有效排放高度	114
六、计算实例	117
§ 4-2 除尘技术和装置	117

一、粉尘特性	117
二、除尘装置(除尘器)的性能	123
三、锅炉的除尘装置	129
§ 4-3 二氧化硫的净化和利用	152
一、碱性吸收剂脱硫方法	154
二、碱土吸收剂脱硫方法	158
三、金属氧化物脱硫方法	160
四、活性炭吸附的脱硫方法	162
五、催化氧化法脱硫	163
六、还原脱硫法	165
七、其他控制措施和回收方法	165
§ 4-4 氧化氮(NO_x)的净化和利用	167
一、干法脱硝	168
二、湿法脱硝	170
三、其他控制措施和脱硝方法	173
参考文献	174
第五章 灰渣的处理和利用	176
§ 5-1 概述	176
一、对土壤的污染	176
二、对水体的污染	177
三、对大气的污染	177
§ 5-2 灰渣综合利用的几个途径	178
一、灰渣的物理化学特性	178
二、灰渣用作建筑材料	179
三、灰渣用于农业	181
四、从粉煤灰中提取空心微珠	183
五、从粉煤灰中提取有用元素和物质	185
§ 5-3 废渣的最终处理	186
一、填埋处理	186
二、焚烧和热解处理	187
三、投海处理	187
参考文献	188
第六章 噪声污染及其治理	189
§ 6-1 噪声的基础知识	189
一、声压、声强和噪声声级	189
二、噪声的频谱	191
三、响度(Loudness)级和等响曲线	191
四、声音的衰减	192
五、气象、地理条件对噪声传播的影响	193
§ 6-2 噪声的危害及有关标准	195
一、听力保护标准	198
二、一般环境标准	198

三、交通噪声标准	199
四、机动车辆噪声标准	200
§ 6-3 隔声与吸声	200
一、隔声	200
二、吸声	203
§ 6-4 工业噪声及其控制	207
一、消声器的应用	207
二、隔振和阻尼	211
参考文献	212
第七章 环境分析和检测	213
§ 7-1 总则	213
一、监测的目的、要求和内容	213
二、采样位置和采样点	213
三、烟气湿度和密度的测定	215
§ 7-2 烟尘浓度的测定	217
一、测定程序	217
二、等速取样	217
三、烟尘排放浓度与排放量计算	225
§ 7-3 硫的氧化物的测定	225
一、测定的目的、方法和浓度表示法	225
二、硫的氧化物的测定方法	226
§ 7-4 氮的氧化物的测定	236
一、概述	236
二、化学分析法测定氮的氧化物浓度	237
三、连续分析法测定氮的氧化物浓度	247
§ 7-5 噪声测定	245
一、噪声计及其应用	245
二、噪声频谱分析仪	246
参考文献	248

第一章 环境科学基本知识

§ 1-1 环境科学的发展和我国环境保护方针

在自然界中，任何生物都在一定的环境条件下生存，为了更好的生存，需有一个合适的环境是。人类也不例外，所不同的是，人类不但在环境中生存，还同时利用和改造着环境。近百年来，人类的这种利用和改造环境的活动是巨大的，特别是现代工农业的迅猛发展，资源、能源被大量开发利用，大型工程的兴建，以及人口过分增长并集中于城市等，已经对环境变化产生了深远的影响。生物体和人类赖以生存的环境条件——空气、水源、土壤、森林、海洋、食品等受到了直接或间接的、近期或长远的、明显或缓慢的污染和破坏。有毒、有害物大量排入大气、水体和土壤中，局部和区域环境质量发生变化、降低和恶化，大量公害事件不断发生，有些甚至是全球性的环境变化，这就严重威胁着生物体和人类更好的生存。环境的恶化将对人类活动产生反作用和报复，严重的公害事件一次又一次地教育着人们，使人类慢慢懂得了保护环境的重要性。为适应人类保护和改善环境的社会需要，以研究环境质量及其控制与改善的环境科学，经过一段时间的孕育和发展过程，随着人类和自然斗争、生产力不断提高的过程而产生了。这门学科发展成为环境科学是近二、三十年的事，它不仅发展和丰富了自然科学的领域，还解决了不少环境污染和公害事件。

什么是环境科学，至今还没有公认的说法。但是，发展到现在，已经可以简单地说，环境科学是研究环境的质量及其保护和改善的学科。它的领域十分广阔，是一门综合性很强的学科，不仅包括各种自然因素，也包括一定的社会因素。它是以生态学为基础理论，充分利用化学、生物学、物理学、数学、地学、医学、工程学等各领域的科学知识和技术，对人类活动引起的空气、水、土地、生物环境的问题，进行系统研究的学科。

环境科学的一个显著特点是促进了各学科间的结合、相互渗透而出现一些新的分支学科。

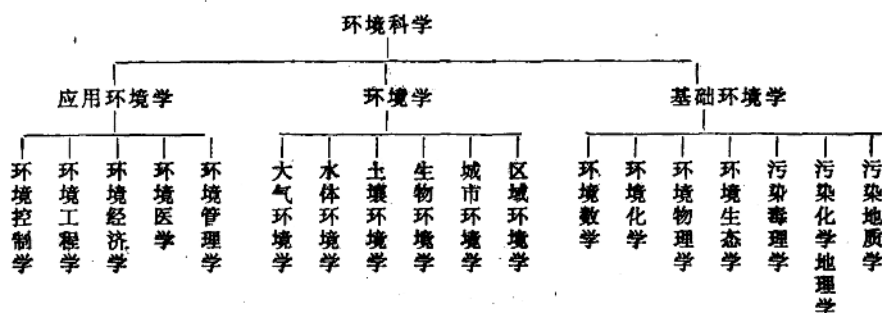
例如，地球化学是研究自然界中各种金属元素、非金属元素、各种无机和有机化合物在地球的运动、分散、富集规律的学科。而环境污染从地球化学角度来看，无非是一些由于人类活动排放的元素和化合物迭加在自然界物质运动中去，这就使环境科学和地球化学密切结合起来，从而产生了环境地球化学学科。

又如医学和地学，原来它们是不相干的两门独立学科。通过地方病的研究，通过在发病上有地区性差别的癌症、冠心病的研究，使这两门古老的学科结合起来，产生了新的环境医学学科。

这样的例子可以列举很多，环境生物学、污染气象学则是环境科学和生物学、气象学的结合和渗透而产生的。

由此，环境科学的重要性是不言而喻的。在当代的有关环境的问题，企图用单纯的数学、物理学或别的学科的知识来解决已属不可能，而必须用环境科学及其分支学科来研究解决。

环境科学尚处于发展阶段，就其研究范围，可分为以下各学科：



环境科学虽有以上精细分科，但各学科的研究内容大致相同，主要有以下几方面：

环境状况的调查和环境质量的评价；

污染物质在自然环境中的转移、循环和积累；

环境污染危害的研究；

环境污染控制和消除措施的研究；

环境污染的预报和预测；

环境区域规划和环境保护规划的研究；

自然资源的保护和合理利用；

环境监测和分析技术的研究。

就世界范围而言，60年代初，工业发达国家就出现了公害事件，但在治理污染时没有进行综合治理。例如英国伦敦烟雾事件后，英国一些电站使用了石灰水法脱硫，将形成的硫酸钙大量排入水体，结果是大气污染向水体污染转移，没有真正解决问题。以后环境科学有了重大进展，弄清了污染物在环境中迁移和转化规律，开始把污染物、环境、公害作为一个整体来分析研究。这一时期还搞清了伦敦、洛杉矶烟雾生成机理，对水俣病、骨痛病的原因有了明确结论。

60年代后期则开始通过能源结构的改革、资源的合理利用、改革工艺等，把工业“三废”消灭在生产过程中。此时，环境监测，特别是系统、连续监测有了很大发展，污染物在环境中扩散、转移、降解、次生污染等规律更加清楚了。它们在人体内代谢、积累和对人体的危害也更明了了。所有这些研究成果为提出环境的物理、化学、生物数学模式，对环境进行质量评价、环境规划等提供了良好的科学基础，也为环境科学的不断完善奠定了基础。近年来，环境科学有了新发展，主要是利用新技术和新理论来研究环境问题。如对环境质量进行综合评价，环境质量的预测预报等。但是，环境问题是复杂的，还远未达到能解决所有环境问题，而环境科学也正在进一步发展中。

我国环境科学研究工作始于1972年。在此以前，在“三废”的综合利用，绿化园林，水土保持，自然保护，噪声控制和某些水土病因的调查方面，进行过一些研究，取得一定的成绩。但是，工作零散，缺乏计划和组织，没有一支环境问题的科研队伍。1972年，国务院批准了关于官厅水库污染情况和解决意见的报告，接着在1973年召开了第一次全国环境保护工作会议，从此，开始了环境科学的研究工作。1975年，中国科学院建立了环境化学研究所，此后又建立了一些研究室，初步形成了一支环境化学、环境地学、环境生物学和环境声学相

结合的专业队伍。根据国家环境保护工作的任务和要求,这支队伍先后进行了水库水源保护的调查,地区环境质量的综合评价,海域石油污染来源的调查,净化有机农药废水的研究,大气污染监测车,水、土壤、生物样品的分析方法和仪器研究,城市噪声以及石油、化工、轻工、纺织、冶金、电力等行业“三废”治理技术的研究。1977年全国自然科学规划会议上,制订了我国第一个环境科学发展规划,按照这个规划的要求,各分支学科(包括环境化学、环境生物学、环境地学、环境医学、环境声学、环境工程学等)都开展了研究工作。1978年,全国召开了环境科学理论研究会,会议认为,环境科学必须深入开展基础理论研究工作,要打破原来学科的一些传统观念,把环境保护工作中带综合性、战略性、全局性的一些关键问题作为主攻方向。目前的重点应是结合能源结构、资源利用、居住条件等方面的迫切问题进行研究,主要探索生物圈和生态系统的动态平衡及污染对其影响;区域环境污染对全球性的影响;资源的开发利用,污染物的发生和综合治理之间的关系;生命对环境适应性与能动性以及人与环境对立统一规律的研究等课题。1979年,继《森林保护法》、《水产资源保护法》颁布后,又颁发了《中华人民共和国环境保护法》,同年,又成立了中国环境科学学会,最近,继食品卫生法发布后,又颁布了中华人民共和国大气污染防治法,从而,使我国环境科学研究工作推向一个新的高潮。

《环境保护法》明确规定了我国环境保护的方针,其中规定:

“国家保护环境和自然资源,防治污染和其他公害;

环境保护工作的方针是:全面规划,合理布局,综合利用,化害为利,依靠群众,大家动手,保护环境,造福人民;

一些企业、事业单位的选址、设计、建设和生产,都必须充分注意防止对环境的污染和破坏。……其中防止污染和其他公害的设施,必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产;各项有害物质的排放必须遵守国家规定的标准。”

这条方针,是总结了我国在环境保护方面的经验而制定的。实践证明,认真执行这条方针,环境就可以得到保护和改善。

对这条方针具体来讲,前16个字是措施和方法,在发展工农业生产时,要统筹兼顾,全面安排,正确安排工业和农业,城市和乡村,生产和生活等方面的关系,使发展经济 and 环境保护统一起来,要坚决反对“先建设,后治理”的错误方针。在污染产生后,要开展对污染物的综合利用,使之化害为利。中间8个字是实现环境保护的工作路线;只有使方针做到家喻户晓,深入人心,才能充分调动广大群众的社会主义积极性,把环境保护工作做好。最后8个字是环境保护工作的目的,因为环境保护工作,从根本上来说,也就是要保护人民的健康和发展社会生产,以造福人民。

§ 1-2 人类和环境的关系——生态学

要了解环境污染的产生和环境保护的目的和内容,必须先从生物(特别是人类)与环境的关系谈起。

一切生物都是在一定的自然环境条件下生存的。自然环境包括空气、日光、水、温度和湿度、土壤、岩石等因素,构成环境的这些基本因素称环境因素。生物离开它所需的环境因素就不能生存,相反,生物的活动又反过来影响它所生存的环境。研究生物和环境相互关系的

科学就叫做生态学。

生态学涉及的内容颇多，现仅谈一下和环境保护有关的几个生态学概念。

一、生物圈

什么是生物圈，自然地理学把构成自然环境的总体划分为大气圈、水圈、生物圈、土圈和岩石圈等五个自然圈。生物圈是指接近地球表面的那一层环境，因为只有这个表面层里有空气、水、土壤，能够维持生物的生命。人们把这个生物有机体生存其中的地球表面层，叫做生物圈。广义的生物圈是地球表面全部有机体及与之发生相互作用的物理环境的总称。它的范围是从海面以下约11km到地平面以上约10km^①。包括大气圈下层和岩石圈上层，以及整个水圈和土圈。

二、生态系统

动物、植物、微生物等生物，在自然界中并不是孤立地生活的，它们总是结合成生物群落而生存着。生物群落与大气、水、土壤、岩石、化学物质等非生物环境之间密切相关，相互作用，并进行着物质和能量的交换，这种生物群落和环境的综合体，就叫做生态系统。

生态系统是一个广泛的概念，可大可小，从含有几个藻类细胞的一滴水到宇宙本身都是生态系统。例如自然生态系统有海洋生态系统、原始森林生态系统等；人工生态系统有城市、矿区、工厂等。它们都由生物群落和非生物环境组成一定的结构和在一定范围内进行质能循环。它们相互联系，互相制约，在一定条件下保持着自然的暂时的相对的平衡关系，形成一个非常精巧而又复杂的生态系统。

生态系统在自然界中不是静止不变的，而是处于不断运动和变化之中，任何人类活动和自然因素的变化都可以破坏生态系统的暂时平衡状态，以后发生变化又达到一个新的平衡状态。在这过程中，生态系统就进行着物质和能量的交换，使之变化、发展，并达到新的平衡。例如一个鱼池内有水、植物、微生物和鱼等各种生物，它们相互联系，相互制约。鱼依靠浮游动、植物生活，鱼死了以后，微生物将它分解为基本元素和化合物，这些元素和化合物又是浮游动、植物的养料。微生物在分解过程中要消耗水中的氧气，而浮游植物又通过光合作用向水中补充氧气。浮游动物吃浮游植物，鱼又吃浮游动、植物，这样，在鱼池里就构成了微生物、浮游动、植物和鱼之间的相互联系、依赖、制约的相对平衡状态的生态系统。

三、生态系统的物质循环和能量流动

每一个生态系统都有一个物质循环和能量流动系统。地球表面无数生态系统的物质循环和能量流动汇合成地表大自然总物质循环和能量流动系统。整个自然界就是在物质循环和能量流动中不断变化和发展的。

所谓能量流动是指生态系统中能量转移。绿色植物能将日光的辐射能转化为化学能贮存在有机物质中，因此，在生态系统中它是生产者，居于重要地位。食草动物通过食物关系将能量转化到异养有机体中，然后再通过食肉动物转化到食肉动物这个异养有机体中，因此，食草、食肉动物都是消费者（异养有机体）。它们死后又被细菌等分解，将复杂的有机分子转变成简单的无机化合物，最后把光合作用的能量分散返回到环境中去。与此同时，生产者和消费者由于呼吸作用都有一定的能量消耗，并把部分能量逸散到外界。这样的过程就是生态系统的能量流动（见图1-1）。

在生态系统中，食物关系把多种生物联系在一起，这种食与被食的关系相互联接，形成

① 另一种广义的理解生物圈的范围认为，地球表面以上23km海面以下12km均属生物圈。

所谓食物链。上述的绿色植物摄取太阳能，然后由绿色植物转移到食草动物，又由食草动物转到食肉动物，就是最一般的食物链形式。从环境保护的观点来看，对于食物链有两点应该注意：一是污染毒物会沿着食物链进入人体；二是毒物可以经过食物链而逐渐富集，一些有机农药和含重金属的物质就有这个倾向。

生态系统中反映在生物群落和环境之间的物质循环是很复杂的。另外，生态学还有很多定性上尚不十分清楚的领域，和定量上几乎仍属未知部分的生态系统，这就增加了问题的复杂性。不过，作为基本的概念来理解，我们可以用最基本的元素氢、氧、氮、碳等的物质循环来说明问题，而一切生物也都主要由这些基本元素所构成，现在我们来说明和本课程关系密切的碳和氮的物质循环。

图1-2是简化的碳物质循环图。碳是以二氧化碳的形式储存在大气中的，绿色植物从大气中取得 CO_2 ，通过光合作用，把 CO_2 和 H_2O 转变成简单的糖，并放出氧气，供消费者使用，消费者呼吸时释放出 CO_2 ，又被植物所利用，这是碳循环的一个方面。随着有机体的死亡和被微生物所分解，把蛋白质、碳水化合物和脂肪破坏，最后氧化成 CO_2 、 H_2O 和其他无机盐类， CO_2 又再被植物吸收利用，参加生态系统再循环，这是第二方面。燃料燃烧，火山爆发都会增加大气中的 CO_2 成分，这是第三方面。碳酸盐岩石会从空气中移走部分 CO_2 ，溶解在水中的碳酸氢钙将顺江河流入海洋，并在一定条件下转变成碳酸钙沉于海底形成新的岩石，这是碳循环的第四方面。……还有一些别的碳物质循环，这样就组成了生态系统中平衡的碳循环。由于人类的活动，例如燃料的燃烧增多了，则大气中的 CO_2 和 CO 成分将增加，这就破坏了碳的物质平衡，如果这种破坏小于自然界动态平衡恢复能力，还不至于造成环境污染和公害，如若超过了恢复能力的范围，那么就会造成公害。

由此，我们可以得出如下的公式：

$$(\text{人类各种活动的冲击}) - (\text{自然界动态平衡恢复能力}) = (\text{环境污染或公害})$$

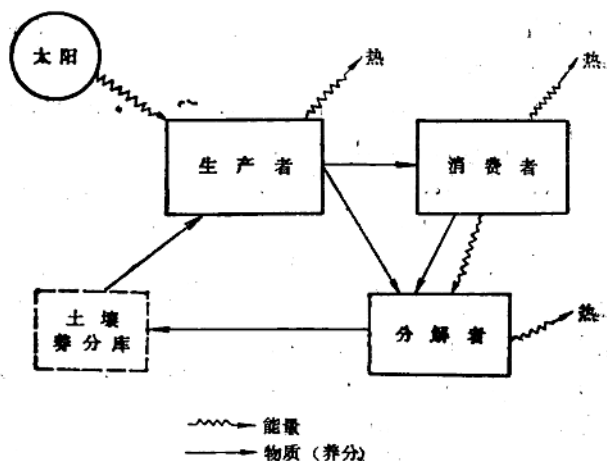


图1-1 生态系统的能量流动和物质循环示意图

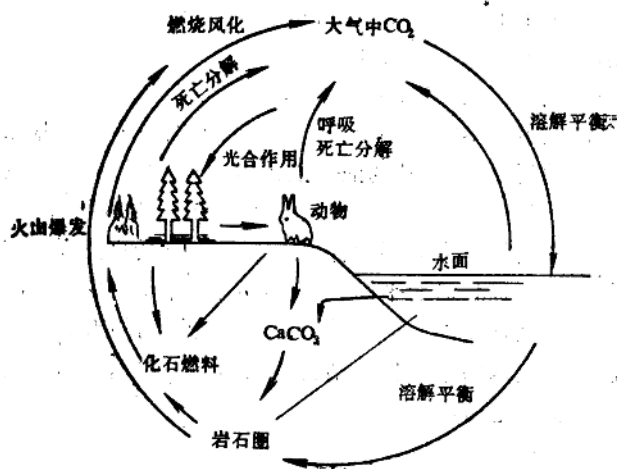


图1-2 碳的物质循环

这是应该充分注意的,据计算,由于人类活动的增加,从1950年至1960年这十年间,单就燃料燃烧进入大气中的碳量约为 $2.5 \times 10^8 \text{ t}$ 。而绿色植物通过光合作用将 CO_2 固定为淀粉形式,在同时间内只约为这个数值的18%。这样,多余的CO和 CO_2 将对自然界、全球性的气候变化产生超过常识所能想像的影响。据统计,近年来空气中 CO_2 浓度每年增加 $0.7 \sim 1.3 \text{ ppm}$ 就是这样引起的。

再说氮循环,动物不能直接从空气中摄取游离氮,也不能从矿物质里直接摄取化合状态的氮,动物只能从植物体内摄取由氮、碳、氢、氧、硫等元素组成的复杂化合物——蛋白质以获得氮。植物从土壤中吸收硝酸盐、铵盐等含氮分子,硝酸盐在植物体内与复杂的碳分子结合成各种氨基酸,氨基酸联结在一起形成蛋白质。动植物死亡后,体内的蛋白质被微生物分解成硝酸盐或铵盐回到土壤中又被植物所吸收、利用。土壤中一部分硝酸盐在反硝化细菌作用下变成分子氮回到大气中。大气中的氮含量很高,但植物不能直接使用,只有固氮细菌和某些蓝绿藻能把空气中的氮转变成硝酸盐,供高等植物利用,豆类植物的根瘤菌有固氮作用。此外,空气中的闪电能使大气中的氮转变为硝酸盐,这些过程的总合构成氮循环。图1-3为氮循环图。

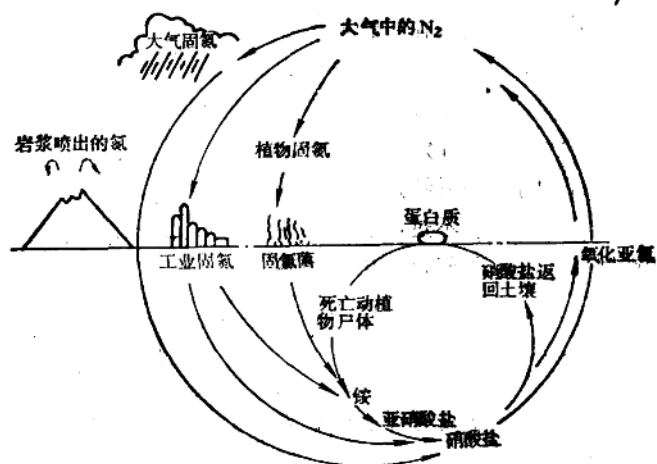


图1-3 氮的循环

和其他元素循环一样,生态系统中氮的循环,在各种生物之间、生物和非生物环境之间保持着一种相对的平衡。同样,在条件发生变化时,特别是人类活动的冲击,超过了自然界动态平衡恢复能力时,就会出现系统平衡的破坏和导致环境污染与公害。例如,广泛使用氮肥将引起水污染,扩大燃料燃烧则会使大气中 NO_x 浓度增加,有时还会出现光化学烟雾,造成更大的危害。

和其他元素循环一样,生态系统中氮的循环,在各种生物之间、生物和非生物环境之间保持着一种相对的平衡。同样,在条件发生变化时,特别是人类活动的冲击,超过了自然界动态平衡恢复能力时,就会出现系统平衡的破坏和导致环境污染与公害。例如,广泛使用氮肥将引起水污染,扩大燃料燃烧则会使大气中 NO_x 浓度增加,有时还会出现光化学烟雾,造成更大的危害。

§ 1-3 环境保护的目的和内容

根据上述的生物圈、生态系统、生态平衡等生态学基本概念,就可更清楚地了解环境的破坏和污染的产生。从生态学观点来看,可以把总的环境看作是由各种各样生态系统所组成,各个生态系统对其进入的化学物质(指污染物质)都有一定的自净能力,当进入的有毒物质较少时,生态系统能通过物理、化学和生物的净化作用,降低其浓度或使之消除,这样,系统能达到新的平衡,环境将不受破坏。反之,若有毒物质过多,超过了系统的净化能力,生态系统的结构和机能就会破坏,环境将出现污染。上面谈到过 CO_2 的循环,由于人类活动的冲击,一方面是世界上大片森林和绿色植物被砍伐,另一方面是石油、煤炭、天然气的大量开发并用于燃烧,这就严重地破坏了大气圈内的 CO_2 循环平衡,最终导致大气圈中 CO_2 浓度

增加。据计算,近年来空气中 CO_2 浓度每年增加 $0.7 \sim 1.3 \text{ ppm}$, 到2000年有可能使大气圈中的 CO_2 浓度超过 370 ppm 。由于 CO_2 浓度增加不阻碍太阳辐射,却吸收来自地面的长波热辐射,它将起着“温室效应”,最终导致地球表面大气层温度升高,并有可能引起全球性的公害事件。

生态系统的破坏,有属于自然原因引起的,如火山爆发、地震、虫灾、地方病等。也有属于人为原因引起的,如不合理的开发和利用自然资源、工农业发展带来的环境污染等。环境保护的目的应该是随着社会生产力和科学技术的进步,在人类征服自然的能力不断增加的同时,应用先进的科学技术,研究和找寻破坏生态系统平衡的原因,避免和减轻对环境的破坏,化害为利,为人类造福,在环境科学的研究中,既要重视自然原因对环境的破坏,更要研究人为的对环境的破坏,后者往往更存在危害的广泛性和潜在性。

环境保护的内容很多,因为人类活动有生产性和非生产性的,我们主要研究人类生产性活动对自然环境的污染和破坏。当前,与我们关系密切的有以下几方面:

一、大气污染及其防治

因为人类生存离不开空气,因此,大气这个环境显得特别重要。空气由氮、氧、氩、二氧化碳四种主要气体组成,占空气重量的 99.997% ,其余有微量的氟、氯、氦、氙、氢、氖、甲烷、臭氧、氧化氮等气体,占 0.001% 左右。对大气污染威胁较大的污染物有粉尘、 SO_2 、 CO 、 NO_2 、氟和氟化氢、碳化氢、硫化氢、氨和氯等。其主要污染发生源是燃料的燃烧,工业生产过程中排出的粉尘以及汽车的尾气。这些有害气体造成的危害很大,国外八大公害事件中就有五件是属于大气污染的公害事件,它们是1930年比利时发生的马斯河谷烟雾事件;1948年美国发生的多诺拉烟雾事件;1952年在伦敦发生的伦敦烟雾事件;1946年在美国洛杉矶发生的光化学烟雾事件;1955年在日本发生的四日市二氧化硫污染事件。近年来,国外一些大、中城市都发生过类似事件,都给工、农业生产和人民的生活带来极大的危害。就伦敦烟雾事件而言,大气中烟尘最高浓度达 4.46 mg/m^3 ^①,二氧化硫日平均浓度达到 1.34 ppm ,由于持续时间达4、5天之久,伦敦死亡人数达4000人之多,可见其危害之大。其防治的方法有:工业布局要合理;改变燃料的燃烧方法;绿化造林;采用高烟囱和高效除尘设备;采用集中供热;减少交通废气污染等。关于这方面的详细内容,是本书的重点,将在以后章节中阐述。

二、水污染及其防治

和空气一样,人类生活和从事工、农业生产活动都离不开水,例如,生产一吨钢需水200多吨,生产一千度电需水 $200 \sim 500 \text{ t}$,生产一吨人造纤维需水 1000 t ,种植一亩蔬菜地需水 $25 \sim 35 \text{ t}$,小麦每亩需水 $40 \sim 50 \text{ t}$ 。据日本1970年统计,农业用水、工业用水和生活用水的比例为 $6:2:1$ 。水和空气不同,它的组成成分受地理环境影响很大,一条江河,它的发源地、中游和下游的水中所含有的杂质、有毒物质、细菌等往往是不同的,也正因为这一点,某些地区由于水中缺少某些人类生存必需的元素而产生“水土病”或“地方病”。水的污染主要来自以下几方面:城市生活排水;工业生产废水;农业生产含有农药的排水;固体废物中的有害物质经水溶解后流入水体;工业排放的有害尘粒经雨水淋洗后流入水体等。和大气一样,水体被污染后,由于其自身的物理、化学和生物作用,有一定的自净能力,但是,水对一些有毒物质,例如多氯联苯、有机氯农药、重金属和放射性物质的自净作用是很有限制的。

① m^3 指标准状态下体积,全书同此。

对水污染威胁较大的污染物是有毒物质和病原微生物。前者种类繁多,例如重金属就有汞、砷、镉、铅、铜、锌等,是由有色金属冶炼厂、电镀厂等工业废水造成的污染,其他还有氰化物、有机氯化物、多氯联苯、苯胺、酚等有毒物质,是一些农药厂、医药厂等工业废水造成的污染;后者则为各种病菌、病毒、寄生虫等,是由生活用水、医院污水及部分工业废水造成的污染。水污染后的危害性极大,列为国外八大公害事件中的日本水俣事件和富山事件均属水污染事件,前者是因为工业废水中含有甲基水银而污染,后者是炼锌厂含镉废水引起污染。值得注意的是,这种重金属和有机农药可以通过食物链的富集,在人体中不断地蓄积起来,经过一段时间以后才暴露出来。研究材料表明,一些生物和鱼类,对这些有毒物质的富集是相当惊人的,如若人们长期食用这些生物和鱼类,就会患病。水污染对农业、渔业的危害当然是很大的。水污染的防治措施,主要是管理好各种含有毒物质的废水,必要时要进行废水的人工净化处理。

三、食物污染及其防治

食物是人类维持生命和健康的要素之一。食物的污染很大一部分是因为水和空气的污染造成的,另一部分则是食品加工、运输、贮藏、分配过程中混入了有害物质污染的。食品污染的危害性也是很大的,例如1968年在日本九州发生的米糠油事件(也是国外八大公害事件之一),即是食物污染事件,由于米糠油生产过程脱臭时使用了多氯联苯作载热体,因生产管理不善,这种毒物混入了米糠油中,造成了5000多人中毒患病,16人死亡的严重污染事件。此外,用于食品包装的人工合成高分子聚氯乙烯(其中含有致癌物质氯乙烯 $H_2C=CHCl$)和器皿或罐头(含重金属Pb)都会污染食品。食品添加剂(防腐、防臭、发色、香料等)也能使食品引起化学性污染。

近十多年来,发现食品的霉菌污染危害也很大。有毒的霉菌中,以黄曲霉素的毒性最大,其中部分黄曲霉素还有致癌性。植物中以霉变的花生含黄曲霉素为最多,黄曲霉素中毒后病变最严重的是肝脏,严重的可导致肝癌。鉴于其危害性较大,我国已颁发了黄曲霉素在食品中的最大允许量,其数值见表1-1。

表1-1 食品中黄曲霉素允许量①

品 种	允许值/($\mu g \cdot kg^{-1}$)	品 种	允许值/($\mu g \cdot kg^{-1}$)
花生、花生油、花生制品、玉米	不超过 20	其他粮食、豆类、发酵食品	不超过 5
大米、其他食用油	不超过 10	婴儿代乳食品	不得检出

① 指黄曲霉素B₁。

为了防止食物污染,最主要的是要防治水和大气污染,另外,食品的生产环境、设备和工艺,都对食品质量有影响,因此,工厂环境、厂房布置、设备容器、工艺操作等都要符合食品卫生要求,严格执行食品管理的各项制度,加强卫生检验和监督等都能积极防治食品污染。

四、土壤污染及其防治

土壤是植物生长发育的基础。如果土壤受到了污染,不但会影响植物的生长和产品质量,更严重的是会通过污染了的植物影响人体健康,因此,保护土壤不受污染也是十分重要的环境保护内容。土壤本身有着很强的自净能力,这是因为土壤胶体能吸附污染物,土壤中还含有大量微生物,它可以破坏酚化合物,以保证植物的良好生长发育。土壤污染很大部分还是

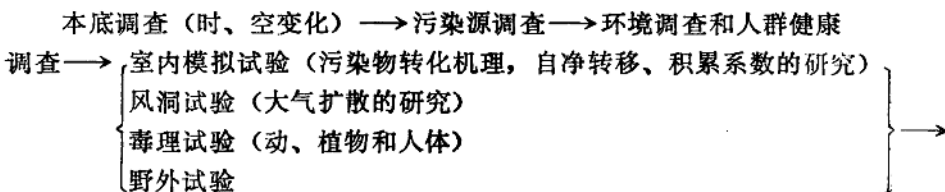
由水污染引起的，如果用含有重金属的水灌溉农田，土壤就被污染，植物中就会含有重金属元素。在国外，曾因灌溉含镉污水而使水稻中含镉量达到 1.31ppm ，远远超过了水稻允许含镉量 0.4ppm 的标准，致使很多人患骨痛病。因为镉能破坏钙质，食用过量后，就会使骨骼软化萎缩，引起自然骨折。施用化肥和农药也会造成土壤污染，特别是有机氯农药用量多时，土壤的污染更为严重，有机氯农药在土壤中不易分解和消失，有的农药要几年甚至十多年才完全消失。有机氯农药的另一个特点是脂溶性强，水溶性弱，这样，就很容易在动物、人体的脂肪内富集。例如滴滴涕的脂溶性高达 $100 \times 10^3\text{ppm}$ ，而水溶性只有 0.02ppm ，因此，这种农药很容易通过土壤→农作物→动物→人体，在人体内富集而影响健康。工业废气也能引起土壤污染，例如铝厂、磷肥厂等排放的工业废气中含有氟或氟化氢，这些工厂周围的土壤中含氟量就高，不仅影响农作物的生长，也严重威胁周围人们的生活。要防治土壤污染，关键的问题还是要防治水、大气的污染，因为大气、水、土壤是密切相关的。

环境保护的内容很多，还有海洋的污染和防治，森林的开发和保护等。例如森林不仅为人类提供木材和各种林副产品，还有涵养水源，保持水土，防风固沙，调节气候，保护环境，减少污染等作用。一个国家或地区的森林覆盖率如能保持或超过30%，并且分布均匀，则可形成一个良好的生态环境，可以在整个自然界物质循环和能量交换过程中起巨大的作用。但是，目前全世界森林的覆盖率只有20%，我国仅为12.7%，因此，保护森林也是环境保护的重要内容之一。总之，环境保护的内容是多方面的，就其主要的来说还是大气、水、食物、土壤这四个方面，其余的都或多或少和这四方面有联系。本书是围绕热能工程的环境保护来叙述的，因此，在以后的章节中，只研究大气污染及防治中的一部分问题。

§ 1-4 环境质量评价及有关标准

环境的优劣，直接影响人类和生物的生存。为了创造一个良好的环境，也为了对污染的环境加以改造，必须对环境质量作出评价，必须制订各种环境质量标准。

所谓环境质量，它应包括以下内容：环境组成元素和物质状态结构及其浓度的时、空变化；污染物对工业农生产的影响；污染物对生物和人体健康的反应和表现。在某一环境中，某一污染物对某一生物体的影响，也就是污染物环境标准评价和标准的制订，都应从本底值的时、空变化调查开始，加上污染物的时、空变化，直到它对生物体的影响为止的全部调查、研究工作。工作的内容和程序如下：



资料、数据的综合分析处理→环境质量的制订→环境数学模式的建立→环境质量评价→环境规划。

所谓环境质量标准，就是指人类和生物维持生存所必须的环境条件。一般是制订各种有害物质在环境中的最高允许浓度，在这个浓度下，人类不会发生急性或慢性中毒，不会引起

粘膜的刺激,不会有异常的不卫生条件。要制订标准,就必须进行大量的环境调查和人体健康状况的调查,同时对动、植物进行必要的毒理试验,然后制订出各种环境质量标准。

随着环境保护工作的发展,环境质量评价工作有了新的发展,评价工作应包括预测和预报。另外,现在还要求对环境作综合评价。例如一个城市的综合评价应包括决定影响城市环境质量的主要因素;各因素的评价标准;综合评价的数学模式和评价指标等内容,最后按综合评价指标值对城市的环境质量作出综合评价。以下是我国南方某城市综合质量评价实例。表1-2列出了这个城市环境污染主要因素、相应的评价标准和加权情况,在测得各污染物实测浓度后,综合环境质量评价指标 Q_i 按下式计算决定:

表1-2 某城市环境质量评价因素、标准及加权情况

环境污染因素(因素数 n)	污染因素	评 价 标 准				加权情况 $m_i \times 100^1$
		$S_i/(\text{mg} \cdot \text{m}^{-3})$	$S_i/(\text{t} \cdot \text{km}^{-2})$	$S_i/\text{dB(A)}$	$S_i/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	
空气污染(3)	SO ₂	0.15				60
	NO ₂	0.1				
	每月降尘量		8			
噪声(1)	室外噪声			50		20
地面水污染(5)	酚				0.01	10
	氯				0.1	
	Cr				0.1	
	As				0.05	
	Hg				0.005	
地下水污染(5)	酚				0.002	10
	氯				0.01	
	Cr				0.05	
	As				0.02	
	Hg				0.001	

$$Q_i = \sum_{i=1}^n W_i P_i / n \quad (1-1)$$

式中 P_i ——污染质量指标, $P_i = C_i/S_i$;

C_i ——污染物实测浓度;

S_i ——污染物标准浓度;

W_i ——污染物的权值, $W_i = nm_i$;

n ——污染物因素数;

m_i ——污染物相对加权百分比;

Q_i ——综合环境质量评价指标值,按以下等级评价:

等级	名称	Q_i 值
1	好	< 0.4
2	尚好	$0.4 \sim 0.5$
3	稍差	$0.5 \sim 0.75$
4	差	$0.75 \sim 1$
5	最差	> 1

在热能工程范围内常用的国内、外环境标准见表1-3至表1-8。

表1-3 居住区大气中有害物质最高容许浓度 (我国)

物质名称	最高允许浓度/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)		物质名称	最高允许浓度/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	
	一 次	日 平均		一 次	日 平均
煤 烟	0.15	0.05	氟化物(折算为氟)	0.02	0.007
飘 尘	0.5	0.15	氮化氮(折算为 NO_2)	0.15	—
一氧化碳	2.0	1.0	砷化物(折算为As)	—	0.003
二氧化硫	0.5	0.15	硫化氢	0.01	—
苯 胺	0.10	0.03	氯	0.10	0.03

表1-4 生活饮用水水质标准 (我国)

物质名称	允许值/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	物质名称	允许值/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
pH值	6.5~9.0	硝酸盐氮	≤ 10
总硬度	≤ 25 度	氟化物	≤ 1.0
大肠菌类	≤ 3 个/L	氰化物	≤ 0.01
铁	≤ 0.3	砷	≤ 0.02
铜	≤ 0.1	汞	≤ 0.001
锌	≤ 0.1	镉	≤ 0.01
挥发酚	≤ 0.002	铅	≤ 0.1

表1-5 几个国家的大气质量标准

污 染 物	国 别	暴露时间及统计参数	最大允许值/($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$)	最大允许值/ppm
二氧化硫	日 本	每天时平均值	120	0.04
	加拿大	每天时平均值	180	0.07
	联邦德国	长期暴露	400	0.15
	美 国	每天时平均值	365	0.13
	苏 联	最大一次测量	500	—
一氧化碳	日 本	每天时平均值	12000	10
	加拿大	8小时平均值	6000	5
	美 国	8小时平均值	10000	9
	苏 联	每天时平均值	1000	—
飘 尘	日 本	每天时平均值	100	—
	加拿大	年平均值	60	—
	美 国	年平均值	75	—
煤 烟	苏 联	每天时平均值	50	—
	美 国	每天时平均值	100(工业区)65(商业区) 50(郊区)	—
	日 本	每天时平均值	150	—
二氧化氮	美 国	每天时平均值	—	各州不同, 0.075~0.15
	日 本	每天时平均值	40	0.02
	苏 联	每天时平均值	85	0.04
	意大利	每天时平均值	—	0.09
	民主德国	每天时平均值	—	0.05
	联邦德国	每天时平均值	—	0.16
	荷 兰	每天时平均值	—	0.05