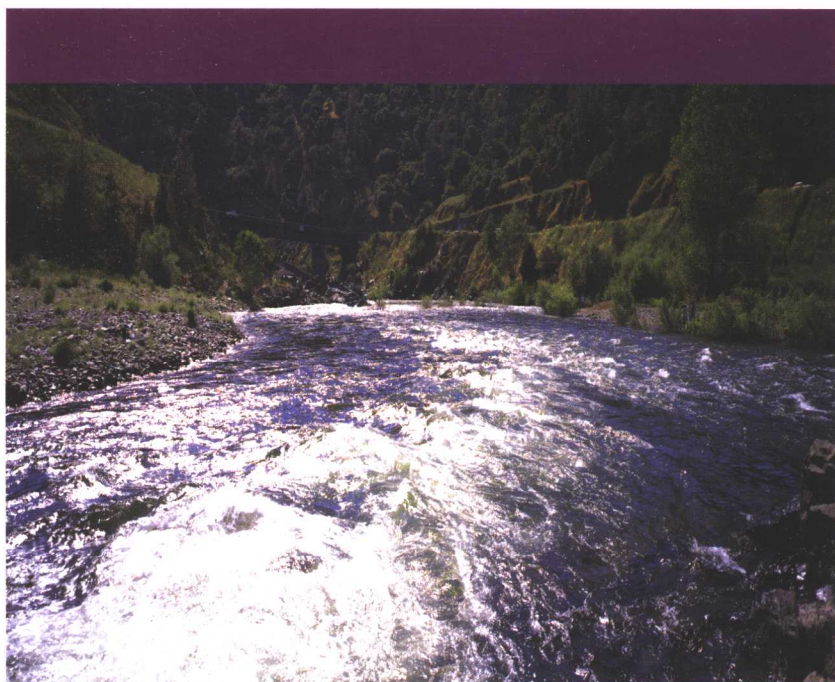


高等学校规划教材

# 环境修复原理与技术

赵景联 主编



Chemical Industry Press

 化学工业出版社  
教材出版中心

高等学校规划教材

# 环境修复原理与技术

赵景联 主编  
刘萍萍 梁继东 沈振兴 参编



化学工业出版社  
教材出版中心

·北京·

本书系统地论述了环境修复的基本原理与基础理论,全面介绍了受污染水环境、污染土壤、污染大气和污染固体废物的各种环境修复方法与技术。全书共分为十章,包括绪论、污染环境的物理修复原理、污染环境的化学修复原理、污染环境的生物修复原理、污染环境的植物修复原理、污染环境修复的生态工程、污染土壤的环境修复技术、污染水环境修复技术、污染大气环境修复技术、固体废物环境修复技术等内容。

本书广泛参考国内外有关书籍及该领域的最新研究进展编写而成,注重理论基础与应用技术相结合,附有多种图表和丰富的参考文献。

本书可供高等院校环境类专业本科生和研究生作教材,也可供其他专业学生作教学参考书,还可供从事环境保护、生命科学、土壤学、水文学的研究人员、工程设计人员阅读和参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

环境修复原理与技术/赵景联主编. —北京:化学工业出版社, 2006. 6  
高等学校规划教材  
ISBN 7-5025-8750-0

I. 环… II. 赵… III. 环境污染-污染防治-高等学校-规划教材 IV. X5

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第066472号

---

高等学校规划教材  
**环境修复原理与技术**

赵景联 主编

责任编辑:满悦芝

责任校对:周梦华

封面设计:潘峰

\*

化学工业出版社 出版发行  
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029)

购书咨询:(010)64982530

(010)64918013

购书传真:(010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销  
北京永鑫印刷有限责任公司印刷  
三河市万龙印装有限公司装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 19½ 字数 492千字

2006年8月第1版 2006年8月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-8750-0

定 价: 34.00元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责退换

# 前 言

人类文明自诞生之日起，就面临着环境问题的困扰与挑战。环境问题与人类的生存与发展息息相关，该问题处理得妥当与否，直接关系到文明的走向与最终命运。

环境问题虽然自古有之，但农业文明时代人类对自然的开发和改造规模相对较小，环境与发展的矛盾尚未激化。工业革命以来，人类生产力水平发生了翻天覆地的变革与飞跃。现代工业文明像一把双刃剑，人类在享受其带来的便利与高效之时，也不得不面对环境问题因而愈加严重的事实。高速发展的科学技术赋予了人类前所未有的改造环境的能力，也冲毁了人类在大自然面前的最后一点矜持与敬畏。被科技武装起来的人类无视环境的承载能力，随心所欲地对其进行干扰与破坏。如此一来，环境矛盾日渐尖锐，影响范围不断扩大，危害程度更是愈发严重。

污染是环境问题中的重要组成部分，也是对人类影响最直接的一方面。中国作为发展中国家，在经济腾飞的起步阶段面临相当的发展压力，对于环境问题特别是污染问题更加需要重视。事实上，我国目前的环境形势十分严峻。

污染物是引起环境恶化的最根本原因之一，解决环境问题的关键是对污染物的控制与处理。污染预防工程着眼于从源头上遏制排放；传统的环境工程（即“三废”治理工程）则侧重于将污染物通过转化或再利用的方法进行削减。以上两种方法在污染控制上发挥着重要的作用，但对于已经遭受污染的环境却无能为力。实际上，工业污染物大多具有严重的毒性，且不易降解，在环境中性质稳定，毒性持久并具有累积效应。对污染环境的治理，同预防与遏制一样重要。环境修复工程正是针对这方面的需求发展起来的。污染预防工程、传统的环境工程和污染环境的修复工程分别属于污染物控制的产前、产中和产后三个环节，三者共同构成污染物控制的全过程体系，是可持续发展在环境方面的重要体现。

环境修复科学是一门介于基础学科与应用学科之间的新兴边缘学科，也是当今环境科学研究的热点领域。该学科主要研究如何对被污染环境采取物理、化学与生物学技术措施，使存在于环境中的污染物质浓度减少、毒性降低乃至完全无害化，从而将环境部分或全部恢复到原始状态。自20世纪末以来，环境修复科学发展甚为迅速，国内众多高等院校都将环境修复作为环境科学与工程专业的骨干必修课程。在教学实践中，编者深感相关专业教材的缺乏，编写一本系统的环境修复教材，对于提高该课程的教学水平是十分必要的。为此，编者以针对本科生和研究生的授课提纲为骨架，参考国内外有关书籍和文献编写了这本教材，以满足环境修复课程教学之所需。

本书由西安交通大学赵景联教授主编，其他参与编写的人员为刘萍萍博士、梁继东讲师和沈振兴博士。北京大学赵靛同学和本校研究生梁勇、李文娟、苏慈绘制了书中的大部分图表，在此表示谢意。

本书在编写过程中参考了大量相关领域的文献资料，在此，编者向所引参考文献的作者致以诚挚的谢意！

由于环境修复科学是一门新兴学科，可供参考的图书资料尚比较匮乏。限于编者的水平，书中难免有不完善之处和错误，恳请读者予以批评指正。

赵景联

2006年6月于西安交通大学

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	1
1.1 环境概述 .....	1
1.1.1 环境概念 .....	1
1.1.2 环境分类 .....	2
1.1.3 环境基本特性 .....	3
1.2 环境问题 .....	4
1.2.1 环境问题的概念 .....	4
1.2.2 环境问题的分类 .....	5
1.2.3 环境问题的产生与发展 .....	5
1.3 环境修复 .....	8
1.3.1 环境修复的概念 .....	8
1.3.2 环境修复的类型 .....	9
1.3.3 环境修复的产生与发展 .....	10
1.3.4 环境修复的对象和任务 .....	11
思考题 .....	12
参考文献 .....	12
<b>2 污染环境的物理修复原理</b> .....	13
2.1 物理修复的概念及特点 .....	13
2.2 物理修复的技术类型 .....	13
2.3 物理分离修复 .....	13
2.3.1 物理分离修复概述 .....	13
2.3.2 物理分离修复过程 .....	14
2.3.3 物理分离修复原理 .....	15
2.3.4 物理分离修复技术应用 .....	19
2.4 蒸气浸提修复 .....	20
2.4.1 蒸气浸提修复概述 .....	20
2.4.2 蒸气浸提修复原理 .....	20
2.4.3 蒸气浸提修复技术应用 .....	21
2.5 固化/稳定化修复 .....	22
2.5.1 固化/稳定化修复概述 .....	22
2.5.2 固化/稳定化修复原理 .....	22
2.5.3 固化/稳定化修复技术应用 .....	23
2.6 电动力学修复 .....	24
2.6.1 电动力学修复概述 .....	24
2.6.2 电动力学修复原理 .....	24

2.6.3	电动力学修复技术应用	26
2.7	热力学修复	28
2.7.1	热力学修复概述	28
2.7.2	热力学修复原理	28
2.7.3	热力学修复应用	29
	思考题	29
	参考文献	29
<b>3</b>	<b>污染环境的化学修复原理</b>	<b>31</b>
3.1	化学修复概念及分类	31
3.2	化学淋洗修复	32
3.2.1	化学淋洗修复概述	32
3.2.2	化学淋洗修复原理	33
3.3	化学固定修复	36
3.3.1	化学固定修复概念	36
3.3.2	化学固定物质的种类	36
3.3.3	化学固定修复机理	38
3.3.4	化学固定修复的局限	39
3.4	化学氧化修复	39
3.4.1	化学氧化修复概念	39
3.4.2	化学氧化修复剂	39
3.5	化学还原修复	44
3.5.1	化学还原修复概念	44
3.5.2	化学还原修复剂	44
3.6	原位可渗透反应墙修复	46
3.6.1	原位可渗透反应墙概念	46
3.6.2	原位可渗透反应墙原理	46
3.6.3	可渗透反应墙修复影响因素	47
	思考题	48
	参考文献	48
<b>4</b>	<b>污染环境的生物修复原理</b>	<b>49</b>
4.1	生物修复概述	49
4.1.1	生物修复的概念	49
4.1.2	生物修复的产生与发展	50
4.1.3	生物修复的特点	52
4.1.4	生物修复的类型	52
4.1.5	生物修复的原则及可处理性试验	54
4.1.6	生物修复工程设计	56
4.2	环境微生物修复机理	57
4.2.1	用于生物修复的微生物	57
4.2.2	微生物修复的影响因素	60
4.2.3	微生物修复与物质循环	64

4.2.4	环境微生物的代谢	67
4.2.5	微生物修复污染物质的可生物降解性	70
4.2.6	微生物对有机污染物的修复	71
4.2.7	微生物对重金属污染物的作用	74
4.2.8	污染物质的生物迁移转化途径	78
4.3	环境修复微生物生态学原理	82
4.3.1	环境修复微生物的生态因子	82
4.3.2	环境微生物的生长与种群的增长	85
4.3.3	微生物群落结构	87
4.3.4	微生物种群间的相互关系	90
4.3.5	相互作用群体生长的数学表达式	93
4.4	影响生物修复的污染物特性	93
4.4.1	优先污染物与目标污染物	93
4.4.2	污染物化学结构对生物修复的影响	94
4.4.3	污染物的降解方式对生物修复的影响	99
4.4.4	污染物的生物可利用性对生物修复的影响	102
	思考题	107
	参考文献	107
<b>5</b>	<b>污染环境的植物修复原理</b>	<b>109</b>
5.1	概述	109
5.1.1	植物修复的概念和类型	109
5.1.2	植物修复的优势及存在的问题	111
5.2	植物对污染物的修复作用	112
5.2.1	植物吸收、排泄与累积	112
5.2.2	植物根的生理作用	114
5.2.3	植物根际圈生态环境对污染修复的作用	115
5.3	影响植物修复的环境因子	116
5.4	有机污染物的植物修复	118
5.4.1	植物对有机污染物的修复作用	118
5.4.2	典型有机污染物的植物修复	119
5.5	重金属的植物修复	119
5.5.1	重金属对植物的伤害机理	120
5.5.2	植物对重金属的抗性机制	120
5.5.3	重金属的植物修复机理	121
5.6	放射性核素及富营养化物的植物修复	126
	思考题	126
	参考文献	127
<b>6</b>	<b>污染环境修复的生态工程技术</b>	<b>128</b>
6.1	生态工程概述	128
6.1.1	生态工程的产生与发展	128
6.1.2	生态工程的概念	129



6.1.3	生态工程的特点	130
6.1.4	生态工程的主要应用类型	131
6.2	生态工程修复技术	134
6.2.1	生态工程修复概述	134
6.2.2	生态工程修复的原理与内容	136
6.2.3	生态工程修复技术	140
	思考题	149
	参考文献	149
<b>7</b>	<b>污染土壤的环境修复技术</b>	<b>150</b>
7.1	土壤污染与污染土壤修复技术概述	150
7.1.1	土壤与土壤污染	150
7.1.2	污染土壤修复技术与方法概述	152
7.2	污染土壤的物理修复技术	154
7.2.1	物理分离修复技术	154
7.2.2	蒸气浸提修复技术	156
7.2.3	固化/稳定化修复技术	159
7.2.4	玻璃化修复技术	161
7.2.5	热力学修复技术	163
7.2.6	热解吸修复技术	164
7.2.7	电动力学修复技术	169
7.2.8	冰冻修复技术	172
7.3	污染土壤的化学修复技术	173
7.3.1	土壤性能改良修复技术	173
7.3.2	化学氧化修复技术	175
7.3.3	化学还原与还原脱氯修复技术	178
7.3.4	化学淋洗修复技术	180
7.3.5	溶剂浸提修复技术	183
7.4	污染土壤的生物修复技术	184
7.4.1	生物修复过程的评价	185
7.4.2	异位微生物修复技术与工艺	189
7.4.3	原位微生物修复技术与工艺	193
7.4.4	植物修复技术	197
7.4.5	土壤修复的生态围隔阻控工程	201
	思考题	203
	参考文献	203
<b>8</b>	<b>污染水环境修复技术</b>	<b>205</b>
8.1	概述	205
8.1.1	水环境污染	205
8.1.2	水环境修复	206
8.1.3	水环境修复的目标与原则	207
8.1.4	水环境修复的基本内容	207

8.1.5	水环境修复技术 .....	208
8.2	湖泊水库水环境修复 .....	211
8.2.1	湖泊水库水环境污染 .....	211
8.2.2	湖泊水库水环境修复 .....	213
8.2.3	湖泊水库水环境修复技术 .....	216
8.3	河流水环境修复 .....	232
8.3.1	河流污染 .....	232
8.3.2	河流水环境修复 .....	233
8.3.3	河流水环境修复技术 .....	235
8.4	地下水水环境修复 .....	246
8.4.1	地下水环境污染 .....	246
8.4.2	地下水环境修复 .....	248
8.4.3	地下水环境修复技术 .....	249
	思考题 .....	269
	参考文献 .....	269
<b>9</b>	<b>大气污染的环境修复技术 .....</b>	<b>270</b>
9.1	大气污染的植物修复 .....	270
9.1.1	大气污染植物修复的过程和实例 .....	270
9.1.2	大气污染植物修复的优缺点 .....	277
9.2	大气污染的微生物修复技术 .....	277
9.2.1	无机废气的微生物修复 .....	277
9.2.2	有机废气的微生物修复 .....	279
9.3	天然无机矿物材料修复技术 .....	283
9.3.1	环境矿物材料固硫剂 .....	283
9.3.2	环境矿物材料除尘过滤器 .....	284
9.3.3	环境矿物材料脱硫除尘喷洒剂 .....	284
9.3.4	天然矿物热效应作用 .....	284
	思考题 .....	284
	参考文献 .....	285
<b>10</b>	<b>固体废物污染的环境修复技术 .....</b>	<b>286</b>
10.1	中国固体废物的排放量及处理处置概况 .....	286
10.2	固体废物污染的环境修复技术 .....	287
10.2.1	固体废物污染的环境修复概述 .....	287
10.2.2	垃圾场的生物修复技术 .....	287
10.2.3	垃圾堆肥污染的植物技术 .....	293
10.2.4	矿山废石场的生物修复技术 .....	294
10.2.5	露天采矿场的生物修复技术 .....	296
10.2.6	矿山尾矿库的生物修复技术 .....	297
	思考题 .....	299
	参考文献 .....	299

# 1 绪 论

**导读：**人类与其周围的环境组成了不可分割的互动体系，二者可谓休戚相关。自工业革命以来，人类文明迈上了高速发展的突破之路，人与自然和谐相处的良性链条却被强行割断。在享受着现代文明的效率与便捷之时，人类也为此付出了高昂的代价。愈来愈多的人从短期利益的迷梦中觉醒过来，开始意识到以牺牲环境求得发展的模式终归不是人类文明延续辉煌的长远之道。为此，体悟和谐之道的先行者们开始关注并投身于医治满目疮痍的地球，环境污染治理技术不断取得进展和突破，一门新的学科——环境修复也就随之而诞生了。

环境修复就是研究对被污染的环境采取物理、化学与生物学技术措施，使存在于环境中的污染物质浓度减少或毒性降低或完全无害化，使得环境能够部分或者全部的恢复到原始状态。

本章第一部分简要介绍了环境的概念、分类及环境基本特征；第二部分详细介绍了环境问题的概念、分类及环境问题的产生与发展；第三部分主要介绍了环境修复的概念、类型、环境修复的产生与发展、环境修复研究对象、任务及内容。

通过本章的学习，了解环境、环境问题及环境修复科学的由来和发展，环境修复的任务。

## 1.1 环境概述

### 1.1.1 环境概念

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。与其周围诸事物间发生各种联系的事物被称为中心事物，而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他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。

环境科学所研究的环境，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、哲学和机构等及人类的定居、人类社会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、求得生存和发展而建立起来的生产关系的总和。

自然环境指环绕于人类周围的各种自然因素的总和，是人类赖以生存和发展的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薄层，即生

物圈。它包括大气圈、水圈和岩石土壤圈等在内的一切自然因素（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，目前主要限于围绕地壳表面的大气的一部分，深度不到 11km 的海洋（太平洋最深处的马里亚纳海沟）和高度不到 9km 的地球表面（最高山峰珠穆朗玛峰）以及高出海平面 12km 内的大气层。虽然它对庞大的地球而言，不过是靠近地壳表面薄薄的一层而已，但却是目前与人类关系最为密切的一层，人类和一切其他生物在此层内生存、繁衍和发展，因而必须加以保护。

《中华人民共和国环境保护法》明确规定“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、城市和乡村等”。这是一种把环境中应当保护的要素或对象界定为环境的工作定义，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。

本书各部分内容中提及的环境均指自然环境。

### 1.1.2 环境分类

按照系统论观点，人类环境由若干个规模大小不同、复杂程度有别、等级高低有序、彼此交错重叠、彼此互相转化变换的子系统组成，是一个具有程序性和层次结构的网络。人们可以从不同的角度或以不同的原则，按照人类环境的组成和结构关系，将它划分为一系列层次，每一层次就是一个等级的环境系统，或称等类环境。根据不同原则，人类环境有不同的分类方法。通常的分类原则是：环境范围的大小、环境的主体、环境的要素、人类对环境的作用以及环境的功能。下面介绍一种按环境的范围由近及远进行的分类。

(1) 聚落环境 聚落是人类聚居的地方与活动的中心，聚落环境也就是人类聚居场所的环境。聚落环境根据其性质、功能和规模可分为院落环境、村落环境和城市环境。

院落环境是由一些功能不同的构筑物和与它联系在一起的场院组成的基本环境单元，如中国西南地区的竹楼、内蒙古草原的蒙古包、陕北的窑洞、北京的四合院、机关大院以及大专院校等。由于经济文化发展的不平衡性，不同院落环境及其各功能单元的现代化程度相差甚远，并具有鲜明的时代和地区特征。

村落环境是农业人口聚居地方的生存环境。由于自然条件的不同以及从事农、林、牧、渔业的种类、规模大小、现代化程度不同，因而村落环境无论从结构上、形态上、规模上，还是从功能上看，其类型都极多，最普遍的有所谓的农村、渔村、山村等。

城市环境是非农业人口聚居地方的生存环境。城市是人类社会发展到一定阶段的产物，是工业、商业、交通汇集的地方。随着社会的发展，城市的发展越来越快、越来越大，越来越成为政治、经济和文化的中心。而且由于人口的高度集中（目前全世界 40% 的人口集中在不到 1% 的陆地上），致使城市中人与环境的矛盾异常尖锐，城市成了当前环境保护工作的前沿阵地。

(2) 地理环境 地理环境最早由法国地理学家 E. 列克留于 1786 年提出，其含义是围绕人类的自然现象的总体。地理环境位于地球的表层，即岩石圈、水圈、土圈、大气圈和生物圈相互制约、相互渗透、相互转化的交错带上，其厚度约 10~30km。地理环境是能量的交锋带。它具有三个特点：有来自地球内部的内能和主要来自太阳的外部能量，并在此相互作用；它具有构成人类活动舞台和基地的三大条件，即常温常压的物理条件、适当的化学条件和繁茂的生物条件；这一环境与人类的生产和生活密切相关，直接影响着人类的饮食、呼吸、衣着和住行。

然而当今的地理环境概念又有所发展，它是自然地理环境和人文地理环境的统一体。人

文地理环境是人类的社会、文化和生产生活活动的地域组合,包括人口、民族、聚落、政治、社团、经济、交通、军事、社会行为等许多成分。它们在地球表面构成的圈层称为人文圈,或称为社会圈、智慧圈、技术圈。无疑,自然地理环境是自然地理物质发展的产物,人文地理环境是人类在前者的基础上进行社会、文化和生产活动的结果。

因此,从大的范围来说,地理环境,特别是自然地理环境是环境科学的重点研究对象。

(3) 地质环境 简单地说,地质环境是指地理环境中除生物圈以外的其余部分。地质环境为人类提供大量的生产资料——丰富的矿物资源等,它对人类社会的影响也将随着生产的发展而与日俱增。

(4) 宇宙环境 “宇”即上下四方、“宙”即无限时间,“宇宙”即无限的时间和空间。目前人类能够观察到的空间范围已达 100 多亿光年的距离。环境科学中宇宙环境是指地球大气圈以外的环境,又称星际环境。不过,此处所指宇宙环境,仅限于人类进入空间活动的年代以后,人和飞行器(人造卫星、探测器、航天飞机等)在太阳系内飞行触及到的环境。人类进入空间活动的历史,仅有二三十年:1957 年人造卫星上天;1961 年发射载人卫星;1962 年金星探测器进入轨道;1966 年飞行器在月球软着陆;1969 年太空人登月;1972 年飞行器在金星软着陆;1975 年带生物的飞行器在火星软着陆;1977 年飞行器飞过木星上空;1979 年飞行器飞过土星;现已离开太阳系。

宇宙环境由广漠的空间和存在于其中的各种天体以及弥漫物质组成,几近真空。各星球周围的大气状况及温度差别极大。金星、木星大气层浓密,金星气压为地球大气压的 90 倍,但缺氧而富  $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、 $\text{He}$ 、 $\text{CH}_4$  和  $\text{NH}_3$ ;而水星则大气稀薄,其气压比地球低 12 个量级。至于温度,水星白天  $427^\circ\text{C}$ ,夜间降为  $-173^\circ\text{C}$ ;金星则达  $465\sim 485^\circ\text{C}$ 。总之,对人类的生存而言,它们的环境条件极为恶劣。人类要征服宇宙,这都是不容忽视的环境条件。

毫无疑问,任何一个层次的环境系统,都由低一级层次的各个子系统组成;而其自身又是构成更高级环境系统的组成部分。系统和子系统是整体和部分的关系。在系统层序上,有些层次间的关系比较密切,有些层次间则可能出现较大的质变。根据其质变关系,可以将人类环境划分成不同的层次等级。前面介绍的聚落环境、地理环境、地质环境和宇宙环境就是四个层次的环境等级。当然,在层次结构上,由于主成分的分布不平衡,往往形成该层次的环境系统的中心和边缘的不同。两种不同类型的环境的交错地带,简称边际。边际属于两种相邻环境的过渡带,它通常具有此两种环境的特征和色彩。如城市环境和农村环境是两种不同类型的聚落环境,但城市郊区和某些集镇就是边际。

### 1.1.3 环境基本特性

由于人类环境存在连续不断的、巨大和高速的物质、能量和信息的流动,表现出其对人类活动的干扰与压力,具有不容忽视的特性。

(1) 整体性 人与地球环境是一个整体,地球的任一部分或任一个系统,都是人类环境的组成部分。各部分之间存在着紧密的相互联系、相互制约关系。局部地区的环境污染或破坏,总会对其他地区造成影响和危害。所以人类的生存环境及其保护,从整体上看是没有地区界线、省界和国界的。

(2) 有限性 这不仅是指地球在宇宙中独一无二,而且其空间也有限,有人称其为“弱小的地球”。这也同时意味着人类环境的稳定性有限,资源有限,容纳污染物质的能力有限,或对污染物质的自净能力有限。下面以环境对污染物的容纳能力或自净能力为例,加以说明。环境在未受到人类干扰的情况下,环境中化学元素及物质和能量分布的正常值,称为环境本底值。环境对于进入其内部的污染物质或污染因素,具有一定的迁移、扩散、同化、异

化的能力。在人类生存和自然环境不致受害的前提下,环境可能容纳污染物质的最大负荷量,称为环境容量。环境容量的大小,与其组成成分和结构,污染物的数量及其物理和化学性质有关。任何污染物对特定的环境及其功能要求,都有其确定的环境容量。由于环境的时、空、量、序的变化,导致物质和能量的不同分布和组合,使环境容量发生变化,其变化幅度的大小,表现出环境的可塑性和适应性。污染物质或污染因素进入环境后,将引起一系列物理、化学和生物的变化,而自身逐步被清除出去,从而环境达到自然净化的目的。环境的这种作用,称为环境自净。人类发展活动产生的污染物或污染因素,进入环境的量,超越环境容量或环境自净能力时,就会导致环境质量恶化,出现环境污染。这正说明环境有限性的特征。

(3) 不可逆性 人类的环境系统在其运转过程中,存在两个过程:能量流动和物质循环。后一过程是可逆的,但前一过程不可逆,因此根据热力学理论,整个过程是不可逆的。所以环境一旦遭到破坏,利用物质循环规律,可以实现局部的恢复,但不能彻底回到原来的状态。当然,有时候人们是有意这样做的,否则就没有必要改造环境了。

(4) 隐显性 除了事故性的污染与破坏(如森林大火,农药厂事故等)可直观其后果外,日常的环境污染与环境破坏对人们的影响,其后果的显现,要有一个过程,需要经过一段时间。如日本汞污染引起的水俣病,需要经过20年时间才显现出来;又如DDT农药,虽然已经停止使用,但已进入生物圈和人体中的DDT,还要再经过几十年才能从生物体中彻底排除出去。

(5) 持续反应性 事实告诉人们,环境污染不但影响当代人的健康,而且还会造成世世代代的遗传隐患。目前中国每年出生有缺陷婴儿约300万,其中残疾婴儿约30万,这不可能与环境污染丝毫无关;历史上黄河流域生态环境的破坏,至今仍给炎黄子孙带来无尽的水旱灾害。

以上事例都说明,环境对其遭受的污染和破坏具有持续反应特性。

(6) 灾害放大性 实践证明,某方面不引人注目的环境污染与破坏,经过环境的作用以后,其危害性或灾害性,无论从深度和广度,都会明显放大。如上游小片林地的毁坏,可能造成下游地区的水、旱、虫灾害;燃烧释放出来的 $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}_2$ 等气体,不仅造成局部地区空气污染,还可能造成酸沉降,毁坏大片森林,造成大量湖泊不宜鱼类生存,或因温室效应,使全球气温升高,冰帽融化,海面上涨、淹没大片城市和农田。又如,由于大量生产和使用氟氯烃化合物,破坏了大气臭氧层,结果不仅使人类皮肤癌患者增加,而且太阳光中能量较高的紫外线杀死地球上的浮游生物和幼小生物,切断了大量食物链的始端,以致有可能毁掉整个生物圈。以上例子足以说明,环境对危害或灾害的放大作用是何等强大。

但是,具有高度智能的人类是干扰和调控环境的一个重要因素。历史的经验证明,人类的经济和社会发展,如果不违背环境的功能和特性,遵循客观的自然规律、经济规律和社会规律,那么人类就受益于自然界,人口、经济、社会和环境就协调发展;相反,则环境质量恶化,生态环境破坏,自然资源枯竭,人类必然受到自然界的惩罚。为此,人们要正确掌握环境的组成和结构,环境的功能和环境的演变规律,消除各项工作中的主观性和片面性。

## 1.2 环境问题

### 1.2.1 环境问题的概念

人类与环境之间是一个相互作用、相互影响、相互依存的对立统一体。人类的生产和生

活活动作用于环境,会对环境产生有利或不利的影晌,引起环境质量的改变;反过来,变化了的环境也会对人类的身心健康和经济发展产生有利或不利的影晌。

所谓环境问题,是指由于人类不恰当的生产活动引起全球环境或区域环境质量的恶化,出现了不利于人类生存和发展的问題。

人类环境问题按成因的不同,可分为自然的和人为的两类。前者是指自然灾害问題,如火山爆发、地震、台风、海啸、洪水、旱灾、地方病等所造成的环境破坏问題,这类问題在环境科学中称为原生环境问题或第一环境问题。后者是指由于人类不恰当生产活动所造成的环境污染、生态破坏、人口急剧增加和资源的破坏与枯竭等问題,这类问題称为次生环境问题或第二环境问题。从上述可见,环境科学中着重研究的不是自然灾害问題,而是人为的环境问題即次生环境问题。

环境是人类生存和发展的物质基础,环境问题的出现和日益严重,引起人们的普遍关注和重视,同时也就促进了环境科学的发展。

### 1.2.2 环境问题的分类

由以上叙述可知,环境问题一般分两类,一类是自然灾害引起的原生环境问题,也叫第一环境问题;另一类是人类活动引起的次生环境问题,也叫第二环境问题,后者又可分为环境污染和生态环境破坏两类。

环境污染是指人类活动产生并排入环境的污染物或污染因素超过了环境容量和环境自净能力,使环境的组成或状态发生了改变,环境质量恶化,从而影晌和破坏了人类正常的生产和生活。例如工业“三废”排放引起的大气、水体、土壤污染。

生态环境破坏是指人类开发利用自然环境和自然资源的活动超过了环境的自我调节能力,使环境质量恶化或自然资源枯竭,影晌和破坏了生物正常的发展和演化以及可更新自然资源的持续利用。例如砍伐森林引起的土地沙漠化、水土流失、一些动植物物种灭绝等。

有时把污染和生态破坏统称为环境破坏,有的国家则统称为环境公害。环境问题的分类如图 1-1 所示。

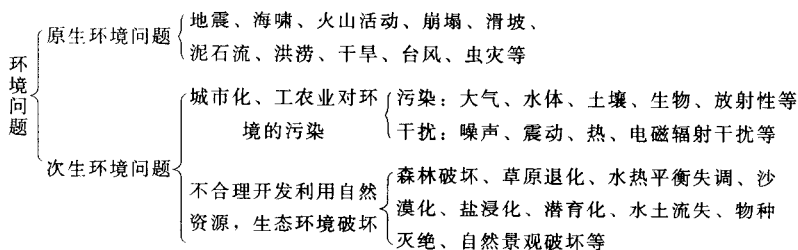


图 1-1 环境问题的分类

原生和次生两类环境问题,两者很难截然分开,常常是相互影晌和相互作用的,它们彼此重叠发生,形成所谓“复合效应”,使环境问题变得更复杂,危害更加严重。原生环境问題是自然环境本身的发展演变而产生的,它在人类出现以前就已存在。但是人类活动对某些原生环境问題的发生,也有某些影晌和作用。例如修筑大坝和过量开采地下水,有可能诱发地震;植被破坏,特别是大片森林破坏,可能引起所在地区气候和水文状况的改变;全球性的 CO<sub>2</sub> 温室效应、酸雨和臭氧层破坏等,都是自然灾害和人类活动“复合效应”的产物。

### 1.2.3 环境问题的产生与发展

环境问題是随着人类社会和经济的发展而发展的。随着人类生产力的提高,人口数量也迅速增长。人口的增长又反过来要求生产力进一步提高,如此循环作用,直至现代,环境问

题发展到十分尖锐的地步，并由小范围、低程度危害，发展到大范围、对人类生存造成不容忽视的危害；即由轻污染、轻破坏、轻危害向重污染、重破坏、重危害方向发展。依据环境问题产生的先后和轻重程度，可将环境问题的产生与发展大致分为以下三个阶段。

(1) 生态环境的早期破坏阶段 这个阶段从人类出现开始直到工业革命，跟后两个阶段相比，是一个漫长的时期。主要表现为生态环境破坏，如大量砍伐森林、破坏草原、盲目开荒等，往往引起严重水土流失，水旱灾害频繁和沙漠化问题。但总的说来，这一阶段的人类活动对环境的影响还是小区域范围的，没有达到影响整个生物圈的程度。

(2) 近代城市环境问题阶段 这个阶段从工业革命开始到 20 世纪 80 年代发现南极上空的臭氧洞为止。工业革命（从农业占优势的经济向工业占优势的经济的迅速过渡）是世界史上一个新时期的起点，此后的环境问题也开始出现新的特点并日益复杂化和全球化。这一阶段的环境问题与工业和城市同步发展，同时伴随着严重的生态破坏。

(3) 当代环境问题阶段 从 1984 年英国科学家发现、1985 年美国科学家证实南极上空出现的“臭氧洞”开始，人类环境问题发展到当代环境问题阶段。这一阶段环境问题主要集中在酸雨、臭氧层破坏和全球变暖三大全球性大气环境问题上。与此同时，发展中国家的城市环境问题和生态破坏，一些国家的贫困化愈演愈烈，水资源短缺在全球范围内普遍发生，其他资源（包括能源）也相继出现将要耗尽的信号。

环境污染是指人类活动排放的有害物质在自然环境中某一系统或区域积聚、其积聚量达到危及或潜在危及人类和生物正常生存和发展的现象。因此，环境问题不仅是环境污染，还包括生态环境的破坏、臭氧层的耗竭、噪声污染等形式的环境恶化或对生物圈的一切不利影响。环境污染是环境问题的一个重要方面。

公害是与污染相关而且并称的另一个环境法律概念，是指由于环境污染和破坏，对多数人的健康、生命、财产以及生活舒适性造成的公共性危害。例如从 1930 年比利时的马斯河谷烟雾事件到 1980 年原苏联的切尔诺贝利核污染事件等世界著名的十大公害事件。环境污染公害事件（20 世纪中叶以来）见表 1-1。

由表 1-1 可见，随着人类社会和经济的发展，环境问题也在不断产生和发展。环境污染公害事件发生频率也比过去加快。近年来，全世界平均每年约发生 200 多起比较严重的公害事件。世界瞩目的有以下 7 起。①意大利塞维索化学污染事故。1976 年 7 月 10 日意大利北部塞维索地区的一家农药厂爆炸，导致剧毒化学品二噁英的污染，使许多人中毒，附近居民被迫迁走，几年内当地畸形儿的出生率大为增加。②美国三哩岛核电站泄漏事故。这次事故发生于 1979 年 3 月 28 日，直接经济损失达 10 多亿美元。③墨西哥的液化气爆炸事故。1984 年 11 月 19 日，墨西哥国家石油公司所属的液化气供应中心发生爆炸，死亡 400 多人，伤 4000 多人，3 万多人无家可归。④印度博帕尔农药泄漏事故。1984 年 12 月 3 日，美国联合碳化物公司设在博帕尔市的农药厂的剧毒化学品异氰酸甲酯罐爆裂外泄，受害人数 20 万，死亡 1400 人以上。⑤原苏联切尔诺贝利核电站泄漏事故。1986 年 4 月 26 日位于基辅地区的切尔诺贝利核电站四号反应堆爆炸，造成重大放射性污染，周围十多万居民被疏散，伤数百人，死亡 31 人。⑥莱茵河污染事故。1986 年 11 月 1 日，瑞士巴塞赞德兹化学公司的仓库起火，使大量有毒化学品随灭火用水流进莱茵河，造成西欧 10 年最大的污染事故。⑦海湾战争造成的环境污染。1990 年底爆发的海湾战争历时 42 天，期间油井大火昼夜燃烧，是迄今历史上最大的石油火灾及海洋石油污染事故，也是人类历史上最严重的一次环境污染，其污染程度超过切尔诺贝利核电站发生的核泄漏事故。这次战争所造成的环境污染是灾难性的，已给世界带来了影响。



表 1-1 环境污染公害事件 (20 世纪中叶以来)

公害发生时间	公害事件名称	公害发生地	危 害	原 因
1930 年 12 月 (1911 年发生过 但无死亡)	马斯河谷烟 雾事件	比利时马斯河谷(长 24km, 两侧山高约 90m)	几千人发病, 60 人死亡	SO <sub>2</sub> 和 MeO 微粒作用下, SO <sub>2</sub> 转化成 SO <sub>3</sub> 进入肺部深处
1931 ~ 1972 年 3 月	富山事件(骨 痛病)	日本富山县(蔓延到群 马县等一带 7 条河的流 域)	患者超过 280 人, 死亡 34 人	吃含镉的米, 喝含镉毒的 水。炼锌厂未经处理净化的 含镉废水排入河中
1943 年 5 ~ 10 月	洛杉矶光化 学烟雾事件	美国洛杉矶	大多数居民患病; 65 岁以上 老人死亡 400 人	石油工业和汽车废气在紫 外线作用下生成光化学烟雾
1948 年 10 月	多诺拉烟雾 事件	美国多诺拉(马蹄形河 湾, 两边山高 120m)	4 天内 42%(约 6000 人)患 病, 17 人死亡	SO <sub>2</sub> 同烟尘作用生成硫酸 盐, 吸入肺部
1952 年 12 月	伦敦烟雾事 件	英国伦敦	5 天内 4000 人死亡, 历年发 生共 12 起, 死亡近万人	粉尘中的 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 使 SO <sub>2</sub> 转 化为硫酸沫, 附着在烟尘上, 吸入肺部
1953 年(1972 年统计)	水俣事件	日本九州南部熊本县 水俣镇	水俣镇病者 180 多人, 死亡 50 多人	甲基汞被鱼吃后, 人吃中 毒的鱼而生病死亡
1955 年以来	四日事件(哮 喘病)	日本四日市(蔓延几十 个城市)	患者 500 多人, 有 36 人在气 喘病折磨中死亡	有毒重金属微粒及二氧化 硫吸入肺部
1968 年	米糠油事件	日本九州爱知县等 23 个府县	患者 5000 多人, 死亡 16 人, 实际受害者超过 10000 人	食用含多氯联苯的米糠油 所致
1961~1975 年	二噁英污染事 件	越南北部	动物出现生态学异常, 居民 很多患癌症, 孕妇先天性流 产、死亡等症	美军喷洒大量含二噁英的 脱叶剂
1976 年 7 ~ 10 月	塞维索化学 污染	意大利北部	多人中毒, 居民搬迁, 几年 后婴儿畸形多	农药厂爆炸, 二噁英污染
1978 年 3 月	阿摩柯卡的 斯油轮泄油	法国西北部布列塔尼 半岛	藻类、海鸟灭绝, 工农业生 产、旅游业损失大	油轮触礁, 22 万吨原油入 海
1979 年 3 月	三哩岛核电 站泄漏	美国宾夕法尼亚州	周围 80.45km 200 万人口极 度不安, 直接损失 10 多亿美元	核电站反应堆严重漏水
1984 年 11 月	墨西哥油库 爆炸	墨西哥	4200 人伤, 400 人死亡, 300 栋房被毁, 10 万人被疏散	石油公司一个油库爆炸
1984 年 12 月	博帕尔农药 泄漏	印度中央博帕尔市	1408 人死亡, 2 万人严重中毒, 15 万人接受治疗, 20 万人逃离	45t 异氰酸酯泄漏
1985 年 1 月	威尔士饮用 水污染	英国威尔士	200 万居民饮用水污染, 44% 的人中毒	化工公司将酚排入河流
1986 年 4 月	切尔诺贝利 核电站泄漏	前苏联、乌克兰	31 人亡, 203 人伤, 13 万人 被疏散, 直接损失 30 亿美元	4 号反应堆机房爆炸(放 射性泄漏)
1986 年 11 月	巴塞利化学 品污染	瑞士巴塞利市莱茵河 流域	事故段生物绝迹, 160.9km 鱼 类死亡, 482.7km 水不能饮用	化学公司仓库起火, 30t S. P. Hg 剧毒物流入河流
1988 年 11 月	莫农格希拉 河污染	美国	沿岸 100 万居民生活受严 重影响	石油公司油罐爆炸, 1.325 × 10 <sup>7</sup> L 原油流入河
1989 年 3 月	埃克森·瓦尔 轴兹油轮漏油	美国阿拉斯加	海域严重污染	漏油 4.165 × 10 <sup>7</sup> L
1991 年 1 月	海湾战争中 大气、海洋污染事件	科威特等 5 国、波斯湾 海域	大气、海域严重污染, 几万只 海鸟丧生, 生态环境严重破坏	(150~300) 万桶原油泄漏 入海, 732 座油井燃烧
1993 年 1 月	加斯奈斯山 甲海域污染	英国设德兰群岛	海域严重污染	飓风致使油轮触礁, 10 万 吨原油入海
1999 年 5 月	比利时二噁英 污染鸡事件	比利时, 殃及德、法、 荷兰	比利时畜牧业损失高达 25 亿欧元, 引发政治动荡, 造成 世界范围冲击波	含高浓度二噁英的油脂被 加工成畜禽饲料导致鸡、肉 类(猪、牛)二噁英污染