

普通高等教育规划教材

环境化学教程

第二版

北京大学

刘兆荣 谢曙光 王雪松 编



化学工业出版社

普通高等教育规划教材

环境化学教程

第二版

北京大学

刘兆荣 谢曙光 王雪松 编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本教程按照圈层、专题分类叙述,内容涉及大气环境化学、水环境化学、土壤环境化学、环境生物化学、各圈层元素循环、典型化学污染物和毒物在环境各介质中的行为和效应。以阐述化学物质在大气、水、土壤、生物各环境介质中迁移转化过程及其效应为主线,全面深入地论述这些过程的机制和规律,并注重反映环境化学及环境工程领域最新研究成果和进展。

本书可作为各类院校环境科学、环境工程专业本科生和研究生教材使用,也可供环境领域的研究人员选用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

环境化学教程/刘兆荣,谢曙光,王雪松编.—2版.
北京:化学工业出版社,2010.8
普通高等教育规划教材
ISBN 978-7-122-08880-2

I. 环… II. ①刘…②谢…③王… III. 环境化学-高等学校-教材 IV. X13

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第117574号

责任编辑:王文峡
责任校对:徐贞珍

文字编辑:刘莉璐
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:三河市前程装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张21 字数559千字 2010年8月北京第2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:35.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

《环境化学教程》(第一版)自2004年正式出版以来,在北京大学的环境科学和环境工程专业作为环境化学课程教学的正式教材使用,在社会上也有不少高校选用为教材或者作为重要参考书。本书的使用人群非常广泛,且获得第七届中国石油和化学工业出版社优秀教材二等奖。

当前,随着中国的经济和社会发展,人们对环境问题的关注日益增强,环境化学学科在解决环境问题过程中不断发展,在诸多基础化学学科中逐渐成长起来,学科独立性进一步增强;同时,相关学科的理论和技术发展也为环境化学学科的体系完善提供了强有力的支持。环境化学不再是简单的化学分析的延伸,而是与生态影响、健康危害、气候变迁、环境化学机制等科学问题的探讨都紧密结合在一起。在实际的教学中也发现部分内容需要根据环境化学和相关学科的发展进行调整,因此迫切需要对本书进行修订。本书的修订尽力体现学科的发展和使用过程的要求。

《环境化学教程》(第二版)在基本保持第一版结构的基础上,增加了环境健康影响的内容比重,对水污染环境化学部分进行了较大内容调整,删除了与工业相关而在环境化学理论方面相对薄弱的清洁生产、工业生态的内容,其余部分进行了资料、技术等方面的更新和丰富。

《环境化学教程》(第二版)全书仍然按照圈层、专题分类叙述,内容涉及大气环境化学、水环境化学、土壤环境化学、生物环境化学、各圈层元素循环、典型化学污染物和毒物在环境各介质中的行为和效应。以阐述化学物质在大气、水、土壤、生物各环境介质中迁移转化过程及其效应为主线,全面深入地论述这些过程的机制和规律,并注重反映环境化学及环境工程领域最新研究成果和进展。

《环境化学教程》(第二版)全书共分22章。其中,第1~8章和第20~22章由刘兆荣修订,第9~14章由谢曙光修订,第15~19章由王雪松修订,刘兆荣负责全书的统稿。为了满足不同高校对本书作为教材的使用,《环境化学教程》(第二版)提供了全书主要内容的Powerpoint电子教案,其中,第1~8章由刘兆荣制作,第9~14章由谢曙光制作,第15~22章由王雪松制作。读者可发电子邮件至 cipedu@163.com 免费获取,或登录化学工业出版社教学资源网获取。

北京大学2003级~2008级环境科学专业和环境工程专业的同学在教材使用过程中,对知识点的不足等提出了宝贵意见;书稿在编写过程中也得到了化工出版社的大力支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

环境化学是新兴的研究领域,诸多环境问题的解决过程中隐藏着复杂的科学原理,正在进一步探索中,环境化学学科将是蓬勃发展的科技领域。本书希望能为关心环境问题、有兴趣参与环境化学探究的读者提供一些基础知识的准备,引导其进入环境化学广阔空间的一扇门。由于参加修订和编写的人员的水平限制,在内容选取、新资料调研方面必然存在不足之处,欢迎各方读者批评指正。

编者

2010年4月于燕园

第一版前言

环境化学研究在中国的发展始于 20 世纪 70 年代，北京大学是最早进入这个领域的团体之一。原北大技术物理系环境化学教研室从 20 世纪 70 年代末起为本科生开设了环境化学课程，唐孝炎院士、陈旦华教授先后主持该课程的讲授。

环境化学是利用化学各基础学科的理论知识来探讨和解决与化学相关的环境问题的科学，具有与实际生产和生活活动密切相关的特征，属于应用性较强的研究领域，因此讲授环境化学时，除在基本知识的传授方面有所选择外，还要与我们面临的全球性、区域性以及局部的实际环境问题相结合。

本教程按照圈层专题分类叙述，内容涉及大气环境化学、水环境化学、土壤环境化学、环境生物化学、工业生态、典型化学污染物和毒物在环境各介质中的行为和效应。以阐述化学物质在大气、水、土壤、生物各环境介质中迁移转化过程及其效应为主线，全面深入地论述这些过程的机制和规律，并注重反映环境化学及环境工程领域最新研究成果和进展。

各部分列出一定数量的习题，读者可以循此回忆教程内容、思考相关的环境问题并提出自己的意见。同时还列出主要参考文献，以便读者对某些感兴趣的问题深入探索。

书中图文并茂，既有理论分析，又有研究计算实例，具有较强的科学性、系统性和实用性。本教程的特色是：①拓宽和加深了环境化学的基础内容，即教材内容丰富，有相当深度；②体现学科发展的最新成果和进展，即新；③内容深浅兼顾，可适用于各类院校环境科学、环境工程本科生和研究生以及环境领域的研究人员选用和参考。

全书共分四部分计 23 章，陈旦华编写第 14~20 章，赵广英编写第 9~13 章，陈忠明编写第 5~7 章和第 22~23 章，刘兆荣担任本书主编，编写第 1~4 章、第 8 章和第 21 章，并负责全书的统稿。

书稿承中国科学院生态环境研究中心的沈济研究员审阅，提出了不少宝贵的意见。化学工业出版社教材出版中心为本书的写作和出版给予了很大支持和帮助。在此一并表示衷心的感谢。

环境化学是比较新的研究领域，正是方兴未艾，很多问题有待进一步探索。我们的工作只是为读者熟悉该领域提供一些帮助，以期引起读者对该领域的研究产生兴趣。限于作者的水平，在内容选取、论点陈述方面必然存在不足之处，欢迎各方读者批评指正。

编 者

2002 年 8 月于燕园

目 录

第1章 绪论	1	1.2.3 环境科学的作用和内容	7
1.1 环境问题	1	1.3 环境化学	8
1.1.1 人类活动和环境问题	1	1.3.1 环境化学的发展	8
1.1.2 环境问题的产生与发展	3	1.3.2 环境化学的研究内容	9
1.1.3 环境意识	5	1.3.3 环境化学的特点和研究方法	11
1.2 环境科学	6	参考文献	11
1.2.1 相关的概念	6	习题	12
1.2.2 环境科学的发展	7		

第一部分 大气环境化学

第2章 大气圈和大气化学	13	反应	35
2.1 大气圈	14	3.3.2 NO ₂ 在空气中的光分解过程	35
2.1.1 大气圈层结构	14	3.3.3 NO _x 向 HNO ₃ 和 HNO ₂ 的 转化——汇	36
2.1.2 大气的组分	16	3.4 碳氢化合物的转化	37
2.2 大气能量传输	18	3.4.1 烷烃	37
2.2.1 太阳辐射光谱和太阳常数	18	3.4.2 烯烃	37
2.2.2 大气对太阳辐射的削弱作用	19	3.4.3 炔烃	38
2.2.3 地面辐射和大气逆辐射	20	3.4.4 含氧碳氢化合物	38
2.2.4 大气能量传输、气象学和气候	20	3.5 光化学烟雾	38
2.2.5 逆温和空气污染	22	3.5.1 光化学烟雾的产生	38
2.3 大气污染物	23	3.5.2 形成机理 (Seinfeld 链反应 机理)	39
2.3.1 大气污染物组成分类	23	3.5.3 光化学烟雾的危害	40
2.3.2 大气污染物浓度表示法	24	3.5.4 光化学烟雾的主要污染源	40
2.4 大气圈主要物质循环	25	3.5.5 光化学烟雾的防治对策	41
2.4.1 含硫化合物	25	3.6 硫氧化化合物的转化	41
2.4.2 含氮化合物	26	3.6.1 SO ₂ 的气相氧化	41
2.4.3 碳氧化物	27	3.6.2 SO ₂ 的液相氧化	42
2.4.4 碳氢化合物	29	3.6.3 在固体表面的催化氧化	44
2.4.5 卤素化合物	29	3.6.4 硫酸型烟雾	44
2.4.6 光化学氧化剂 (O ₃)	30	参考文献	45
参考文献	32	习题	45
习题	32	第4章 酸沉降	46
第3章 对流层化学	33	4.1 酸雨发展及其研究	46
3.1 基本光化学反应	33	4.2 降水的化学性质	47
3.2 重要的自由基来源及转化	34	4.2.1 降水的 pH 值	47
3.2.1 OH 自由基的来源	34	4.2.2 降水的化学组成	49
3.2.2 HO ₂ 自由基的来源	34	4.2.3 影响降水酸度的因素	49
3.2.3 OH 和 HO ₂ 之间的转化和汇	35	4.3 降水的酸化过程	50
3.3 氮氧化化合物的转化	35		
3.3.1 NO 向 NO ₂ 的转化——自由基			

4.3.1 云内清除过程(雨除)	51
4.3.2 云下清除过程(冲刷)	52
4.4 酸雨的环境影响及对策	53
4.4.1 酸雨的危害	53
4.4.2 控制酸雨对策	54
参考文献	55
习题	56
第5章 大气颗粒物	57
5.1 大气颗粒物概述	57
5.2 大气颗粒物的粒径分布	57
5.2.1 大气颗粒物的粒径	57
5.2.2 大气颗粒物粒径分布	58
5.2.3 大气颗粒物的三模态理论	61
5.3 颗粒物的源和汇	64
5.3.1 颗粒物的源	64
5.3.2 颗粒物的汇	65
5.4 颗粒物的化学组成	66
5.4.1 无机颗粒物	66
5.4.2 有机颗粒物	67
5.4.3 生物颗粒物	69
5.5 颗粒物的环境健康效应	71
5.5.1 颗粒物对人体健康的危害	71
5.5.2 颗粒物对大气能见度的影响	73
5.5.3 颗粒物对植被影响	74
参考文献	74
习题	75
第6章 平流层臭氧	76
6.1 平流层臭氧	76
6.2 平流层臭氧的形成和破坏	76
6.2.1 平流层臭氧化学	76
6.2.2 极地臭氧“空洞”及其形成 机制	78
6.2.3 臭氧耗损的后果	80
6.3 臭氧层耗损物质	81
6.3.1 氯氟烃类化合物	81
6.3.2 哈龙类化合物	82
6.3.3 其他化合物	82
6.4 保护臭氧层国际公约	82
6.5 替代化合物	83
6.5.1 替代物的种类	83
6.5.2 替代物对平流层臭氧的影响	84
参考文献	86

习题	87
第7章 温室效应	88
7.1 地球热平衡	88
7.2 温室效应	89
7.3 全球变暖	89
7.4 辐射强迫	90
7.5 温室气体	92
7.5.1 二氧化碳	93
7.5.2 甲烷	93
7.5.3 氧化亚氮	93
7.5.4 卤烃	93
7.5.5 对流层臭氧	94
7.6 全球变暖潜势(GWP)	94
参考文献	95
习题	95
第8章 微环境空气污染	96
8.1 微环境空气质量	96
8.2 室内气态污染物	97
8.2.1 二氧化碳	97
8.2.2 一氧化碳	97
8.2.3 氮氧化物	98
8.2.4 二氧化硫	99
8.2.5 臭氧	99
8.2.6 多环芳烃	99
8.2.7 苯并[a]芘	100
8.2.8 甲醛	100
8.2.9 挥发性有机化合物	101
8.3 室内颗粒态污染物	102
8.3.1 石棉	102
8.3.2 尘和尘螨	102
8.3.3 铅	103
8.3.4 微生物	103
8.3.5 霉菌	103
8.3.6 总悬浮颗粒物	104
8.4 室内放射性污染物	104
8.5 室内空气质量控制	106
8.5.1 室内空气质量控制途径	106
8.5.2 室内空气质量控制模式	107
8.6 绿色建筑和室内环境	108
参考文献	109
习题	110

第二部分 水环境化学

第9章 水环境	111
9.1 天然水系的组成和性质	111
9.1.1 水分子的结构和化学特性	111

9.1.2 海洋	112
9.1.3 河流	113
9.1.4 湖泊	113

9.1.5 降水	113	11.2.6 地表水体中持久性有机 污染物	154
9.1.6 地面水的循环与水体污染	114	11.3 地表水体中富营养污染物	155
9.1.7 地下水	114	11.4 地表水体中合成洗涤剂污染物	157
9.1.8 天然水体中的异相物质	115	11.5 地表水体中放射性污染	158
9.2 水体中主要离子成分的形成	117	11.6 地表水污染防治技术	158
9.3 水体中的溶解氧等溶解性气体	118	11.6.1 污水处理及其再生利用	158
9.3.1 溶解氧	118	11.6.2 受污染地表水体修复 原理与技术	163
9.3.2 二氧化碳	121	11.6.3 受污染地表水源水净化 原理与技术	168
9.4 天然水的水质指标	121	11.7 地下水污染及治理	170
9.4.1 水的纯净度	121	11.7.1 地下水中的有机污染及治理	170
9.4.2 水质指标	122	11.7.2 地下水中的氟污染及治理	172
9.4.3 水质标准	122	11.7.3 地下水中的砷污染及治理	174
参考文献	125	11.7.4 地下水中的铁、锰污染及 净化	176
习题	126	11.7.5 地下水中的硝酸盐氮污染及 净化	177
第10章 水化学	127	参考文献	181
10.1 天然水中的酸碱化学平衡	127	习题	183
10.1.1 酸碱质子理论	127	第12章 膜化学原理在水处理中的应用 ..	185
10.1.2 酸和碱的种类	128	12.1 概述	185
10.1.3 酸和碱的强度	128	12.2 反渗透和纳滤	185
10.1.4 平衡计算	129	12.2.1 反渗透膜的主要特性参数	186
10.1.5 酸碱缓冲容量	130	12.2.2 主要的反渗透膜及其分离 性能	187
10.1.6 碳酸平衡	130	12.2.3 反渗透膜组件及反渗透系统 流程	187
10.1.7 碱度和碳酸盐碱度	132	12.2.4 反渗透系统的应用	192
10.1.8 酸碱化学原理在水处理技术中 的应用	134	12.3 超滤	193
10.2 水体中的沉淀和溶解基本原理	134	12.3.1 超滤的基本理论	193
10.2.1 溶解和沉淀的基本概念	135	12.3.2 超滤系统的设计	193
10.2.2 水体中物质的沉积过程	135	12.4 微滤	195
10.3 络合平衡	141	12.4.1 微滤系统的设计	195
10.3.1 天然水体的螯合作用	141	12.4.2 微滤系统膜组件的应用	197
10.3.2 水体中常见的络合体和络合物 类型	141	12.5 电渗析	197
10.3.3 羟基络合物与水处理过程中的 混凝剂	144	参考文献	197
10.3.4 混凝沉淀应用实例	144	习题	198
10.3.5 天然螯合剂	145	第13章 水处理中化学氧化技术 原理及应用	199
10.4 吸附平衡	145	13.1 概述	199
参考文献	146	13.2 常规化学氧化技术	199
习题	146	13.2.1 氯化	199
第11章 水污染及防治	147	13.2.2 过氧化氢氧化	200
11.1 地表水体污染概述	147	13.2.3 二氧化氯氧化	201
11.2 地表水体中有机污染物	149	13.2.4 臭氧氧化	202
11.2.1 地表水体中天然有机物	149		
11.2.2 地表水体中需氧有机污染物	149		
11.2.3 地表水体中石油类污染物	151		
11.2.4 地表水体中内分泌干扰物	152		
11.2.5 地表水体中酚类污染物	153		

13.2.5 高锰酸钾氧化	203	条件下的基本存在形态	213
13.2.6 高铁酸钾氧化	204	14.2.2 水体中重金属污染物——镉的 迁移转化	214
13.3 高级氧化技术	204	14.2.3 水体中铅污染物的迁移转化	214
13.3.1 光催化氧化	204	14.2.4 汞的迁移转化	215
13.3.2 催化湿式氧化	206	14.3 重金属迁移转化原理	215
13.3.3 超临界水氧化	206	14.3.1 配合作用与重金属的迁移	216
13.3.4 超声	207	14.3.2 其他化学作用对重金属迁移 的影响	217
13.3.5 其他高级氧化技术	209	14.4 污染物在水环境系统中的综合迁移 转化	217
参考文献	209	14.4.1 污染物在水环境中的运动 特征	217
习题	211	14.4.2 污染物的水体推流迁移过程	217
第14章 水体中污染物的迁移转化	212	14.4.3 分散作用	218
14.1 水体中主要有机污染物的迁移 转化	212	14.4.4 污染物的衰减和转化	218
14.1.1 有机污染物的迁移转化	212	参考文献	219
14.1.2 有机物的水解作用	212	习题	220
14.1.3 有机物生物氧化分解作用	213		
14.1.4 挥发	213		
14.2 天然水体中无机物的迁移转化	213		
14.2.1 水体中常见可溶性无机物在好氧			

第三部分 土壤环境化学

第15章 土壤的组成和性质	221	16.4.2 固体废物的排放状况及特点	236
15.1 土壤的组成	222	16.4.3 固体废物的处理、处置方法	236
15.1.1 土壤矿物质	222	16.4.4 固体废物对土壤环境的影响	237
15.1.2 土壤有机质	224	16.5 土壤污染的防治	238
15.1.3 土壤生物	224	16.5.1 弄清和控制土壤的污染源和污染 途径	238
15.1.4 土壤溶液	225	16.5.2 污染土壤的治理	239
15.1.5 土壤空气	225	参考文献	241
15.2 土壤的剖面构型	226	习题	241
15.3 土壤的粒级与质地	226	第17章 土壤重金属污染化学	242
15.3.1 土壤的粒级	226	17.1 土壤中重金属的存在形态	242
15.3.2 土壤的质地	227	17.2 土壤中重金属的迁移转化	243
15.4 土壤的基本性质	228	17.2.1 土壤胶体对重金属的吸附 作用	243
15.4.1 土壤的吸附性	228	17.2.2 土壤中重金属的配合作用	244
15.4.2 土壤的酸碱性	230	17.2.3 土壤中重金属的沉淀和溶解 作用	245
15.4.3 土壤的氧化还原性	231	17.2.4 土壤中重金属的生物转化	245
参考文献	232	17.3 主要重金属在土壤中的行为	246
习题	232	17.3.1 汞 (Hg)	246
第16章 土壤环境的污染及防治	233	17.3.2 镉 (Cd)	247
16.1 土壤污染的概念	233	17.3.3 铅 (Pb)	248
16.2 土壤的污染源	234	17.3.4 铬 (Cr)	249
16.2.1 天然源	234	17.3.5 砷 (As)	250
16.2.2 人为源	234	参考文献	251
16.3 土壤污染物	234	习题	251
16.4 固体废物	235		
16.4.1 固体废物的分类、来源及主要 组成	235		

第 18 章 化学农药在土壤中的迁移转化	252
18.1 化学农药在土壤中的行为及其影响因素	253
18.2 化学农药在土壤中的吸附作用	254
18.2.1 土壤中农药吸附作用的机理	254
18.2.2 土壤中农药吸附作用的影响因素	254
18.2.3 土壤中农药的吸附等温式	255
18.3 化学农药在土壤中的迁移	256
18.4 化学农药在土壤中的降解	258
18.4.1 光化学降解	258
18.4.2 化学降解	259
18.4.3 微生物降解	260
18.5 化学农药在土壤中的残留性及危害	262

参考文献	263
习题	264
第 19 章 化学肥料在土壤环境中的行为	265
19.1 化学肥料在土壤环境中的迁移转化	266
19.1.1 土壤中氮肥的迁移转化	266
19.1.2 土壤中磷肥的转化	269
19.2 化学肥料对环境的影响	270
19.2.1 对土壤环境的影响	270
19.2.2 对水环境的影响	270
19.2.3 对大气环境的影响	271
19.2.4 对生物的危害	271
参考文献	271
习题	272

第四部分 环境化学其他专题

第 20 章 资源与能源	273
20.1 能源	273
20.1.1 能量和能量循环	273
20.1.2 能源和能量转化	274
20.1.3 能源利用及其问题	275
20.2 常规能源	277
20.2.1 煤炭	277
20.2.2 石油	278
20.2.3 天然气	279
20.3 希望能源	280
20.3.1 水能	280
20.3.2 核能	281
20.3.3 太阳能	283
20.3.4 地热能	283
20.3.5 风能	284
20.3.6 生物能	285
20.3.7 海洋能	285
20.3.8 氢能	286
20.4 资源	287
20.4.1 物质和物质循环	287
20.4.2 资源：利用和危机	288
20.5 矿产资源	288
20.5.1 金属矿产	289
20.5.2 非金属矿产	290
20.6 工业废物	291
20.6.1 工业废物	291
20.6.2 工业废物处理	292
参考文献	294
习题	295
第 21 章 环境生物化学	296
21.1 生物化学	296

21.2 生物分子	296
21.2.1 蛋白质	296
21.2.2 糖类	298
21.2.3 脂类	299
21.2.4 核酸	300
21.2.5 酶	301
21.3 细胞	302
21.3.1 细胞的主要特征	302
21.3.2 细胞的组成	302
21.4 代谢过程	304
21.5 有毒物代谢	305
21.5.1 有毒物	305
21.5.2 有毒物代谢	305
21.6 有毒物干扰酶功能的机制	306
21.7 有毒物进入人体的途径	308
参考文献	309
习题	309
第 22 章 有毒物化学	310
22.1 有毒物剂量和相对毒性	310
22.1.1 有毒物剂量	310
22.1.2 相对毒性	310
22.2 有毒物联合作用	311
22.2.1 协同作用	311
22.2.2 相加作用	311
22.2.3 对抗作用	311
22.3 严重毒作用机制	312
22.3.1 致突变作用	312
22.3.2 致癌作用	313
22.3.3 致畸作用	314
22.4 元素有毒物	315
22.4.1 非金属有毒物	315

22.4.2 金属有毒物	315	22.6.1 烷烃	318
22.5 有毒无机化合物	316	22.6.2 烯烃和炔烃	319
22.5.1 氰化物	316	22.6.3 苯和芳香族碳氢	319
22.5.2 一氧化碳	316	22.6.4 含氧有机化合物	320
22.5.3 氮氧化物	316	22.6.5 有机氮化合物	321
22.5.4 卤代氢	316	22.6.6 有机卤代化合物	322
22.5.5 无机硅化合物	317	22.6.7 有机硫化合物	323
22.5.6 石棉	317	22.6.8 有机磷化合物	323
22.5.7 无机磷化合物	317	22.6.9 有机农药	323
22.5.8 无机硫化合物	317	22.6.10 军事毒气	325
22.5.9 有机金属化合物	318	参考文献	325
22.6 有机化合物毒性	318	习题	325

第1章 绪 论

1.1 环境问题

1.1.1 人类活动和环境问题

一般将地球表面分为四个圈层,即大气圈、水圈、土壤-岩石圈以及散布于三圈交会处有生物生存的生物圈,也有将土壤-岩石圈细划为土壤圈和岩石圈,还有将人类活动的空间从生物圈中独立出来,称为人工圈。这些圈层主要在太阳能的作用下进行着物质循环和能量流动。

人体组织的组成元素及其含量在一定程度上同地壳的元素及其丰度之间具有相关关系,这表明人类与环境是一体的。人类通过生产和生活活动,从自然界获取物质资源,然后又经过改造和使用的资源和各种废弃物返还自然界,从而参与自然界的物质循环和能量流动过程,不断地改变着自然环境。人类在改造环境以适宜于本身生存的过程中,自然环境也以自己的规律运动着并不断对人类产生反作用,相互间不能很好协调,结果就常常产生环境问题。

概括地讲,环境问题是指全球环境或区域环境中出现的不利于人类生存和发展的各种现象。环境问题是目前世界人类面临的几个主要问题之一。

环境问题是多方面的,但大致可分为两类:原生环境问题和次生环境问题。由自然力引起的为原生环境问题,也称为第一环境问题,如火山喷发、地震、洪涝、干旱、滑坡等引起的环境问题。由于人类的生产和生活活动引起生态系统破坏和环境污染,反过来又危及人类自身的生存和发展的现象,为次生环境问题,也叫第二环境问题。次生环境问题包括生态破坏、环境污染和资源浪费等方面,目前所说的环境问题一般是指次生环境问题。

地球表面各种环境因素及其相互关系的总和称为环境系统。环境因素包括非生物的和生物的。非生物因素有温度、光、电离辐射、水、大气、土壤、岩石以及其他如重力、压力、声音和火等。生物因素是指各种有机体,它们彼此作用,并同非生物环境密切联系着。

环境系统实际上是一个不可分割的整体,但通常把地球环境系统分为大气圈、水圈、土壤圈(或土壤-岩石圈)和生物圈。在这些圈层的交界面上,各种物质的相互渗透、相互依赖和相互作用的关系表现得尤其明显。

地球环境系统中,各种物质之间,由于成分不同和自由能的差异,在太阳能和地壳内部放射能的作用下,进行着永恒的能量流动和物质交换。各种生命元素如氧、碳、氮、硫、磷、钙、镁、钾等在地表环境中不断循环,并保持相对稳定的浓度。环境系统是一个开放系统,但能量的收入和支出保持平衡,因而地球表面温度相对恒定。环境系统在长期演化过程中逐渐建立起自我调节系统,维持它的相对稳定性。所有这些都是生命发展和繁衍必不可少的条件。

地球环境系统是一个动态平衡体系,有它的发生、发展和形成历史。目前地球环境与原始地球环境有很大的差别。各种环境因素彼此相互依赖,其中任何一个因素发生变化便会影响整个系统的平衡,推动它的发展,建立新的平衡。地球各圈层的质量分布如表1-1,岩石

土壤圈质量最大，占据了绝大部分的地球质量，但是与人类生活直接相关的部分不多，因此岩石土壤圈的研究也最少。水圈的质量次之，但同样的与人类生活密切相关的部分主要是河流、湖泊、地下水中可用的淡水部分，在环境化学研究中是工作做得最多的，主要是借鉴了化学研究中液相体系的研究成果。大气的质量相对很少，但是与人类的生存息息相关，只是由于研究手段的原因，在 20 世纪后半叶才开始多方面展开。

表 1-1 地球各圈层质量

圈 名	估计质量/ $\times 10^{20}$ g	圈 名	估计质量/ $\times 10^{20}$ g
1. 大气圈		两极冰帽、冰山、冰河	278
对流层的质量(至 11km 处)	40	海洋	13480
总质量	52	4. 岩石圈	
2. 土壤圈	16	沉积物	3000
3. 水圈		沉积岩	29000
河流和湖泊	2	变成岩	76200
地下水 ^①	81	火成岩	189300

① 地下水也可归入岩石圈。

环境系统的范围根据研究的需要，可以从全球也可以从局部着眼。全球系统包括许多亚系统，如大气-海洋系统、大气-海洋-岩石系统、大气-生物系统、土壤-植物系统等。局部系统可以是某亚系统的进一步细化，也可以是根据研究对象设定的交互的亚结构。整体系统的变化归根结底是区域性变化的积累，全球变化形成后对局部系统产生控制性影响。例如对森林的滥砍滥伐，造成绿地面积日益缩小，对全球物质循环（CO₂、H₂O 为主）和能量循环（直接的是对太阳和地球辐射的吸收和反射的变化，间接的是物质循环过程中携带的化学能、热能等）造成影响，进而影响全球气候和生态平衡。

对环境系统的理解向来有不同观点，或者以人类为中心设立周边系统，或者以整个自然界为统一整体。相同的地方在于都承认环境系统的内在本质在于各种环境因素之间的相互关系和相互作用过程，揭示这种本质，对于研究和解决当前许多环境问题有重大的意义。

环境系统具有一定调节能力，在一定程度上可以对外界的干扰因素进行补偿和缓冲，从而维持环境系统的相对稳定性。环境系统的稳定性在很多情况下取决于环境系统与外界进行物质交换和能量流动的容量。容量愈大，抗干扰能力也愈大，环境系统也愈稳定；反之，就不稳定。环境系统中的某些不稳定因素，对外来干扰非常敏感。在一定的条件下，某个关键性因子发生小的变化，可能触发内在的反馈机制，引起一系列链式反应，对整个环境系统造成无法挽救的严重后果。例如，极地海冰具有较大的反照率，对阳光的吸收能力远小于陆地和海洋，对温度变化很敏感。温度稍微降低（特别是夏天）时，海冰面积便会向赤道方向扩展；海冰覆盖在海洋水表面，增加了对阳光的反射作用，使地球接受的热量减少。如果地球进一步降温，海冰面积就继续扩展，导致新的冰河期到来。

至今为止，人类还未完全了解环境系统中许多错综复杂的机制，还未能建立精确的模式来揭示环境因素间的微妙平衡关系。例如人们在开始使用氟氯烃时，只注意到它对人体无直接危害、适用性很强，没有想到它会破坏大气臭氧层的稳定，这个问题直到 20 世纪 70 年代中期才引起注意。

原始人群受能力所限，对环境的影响并不比其他动物大。但是随着劳动工具的改进，生产力的逐步提高，人类对环境的破坏能力逐渐增强，对自然环境的索求也逐渐增加，对环境的负面影响越来越大。为了口食而对生物大肆捕捉，造成了某些生物物种的灭绝，如曾经漫天盖地的北美旅鸽的消失；为了得到更多的耕地而对森林大加砍伐，造成沙漠化，如美国在

20 世纪经历的黑风暴、撒哈拉沙漠的扩张、中国西北的荒漠化等。由于人类不合理利用自然而引起自然的无情报复的例子是不胜枚举的。随着技术的进步,人类对环境的影响愈加深刻。

当前人类活动所引起的全球性环境影响主要有以下几个方面。

① 天然生态系统的逐渐消失,野生物种大量灭绝,生态系统简化。农业生态系统的高度发展,少数几种作物代替多样化植被。人类愈来愈借助化肥和农药来维持农业生态系统的稳定,给生态系统带来严重后果。

② 城市化进程加剧,农耕地面积逐渐缩小,环境背景被破坏,全球性环境污染问题日趋严重。

③ 土地利用不合理,土壤侵蚀严重,土壤肥力下降,荒漠化成为全球问题。

④ 矿物燃料的燃烧和森林的减少,使大气层中 CO_2 含量正在增长,伴随着热带雨林面积的减少,全球气候将起重大变化。

⑤ 人类对地壳内部金属矿产的开采、利用和弃置,最终将造成这些金属元素在地表环境中浓度的增高。这些金属元素有不少对有机体是有毒害的,如汞、镉、铅等。它们通过食物链危害生态系统。

这些改变多数是不可逆的,如野生动物的灭绝和地表重金属元素浓度的增加;有的则需要较长时间才能复原,如植被、土壤和大气。

从环境系统演化历史来看,旧平衡的破坏,新平衡的建立是历史发展的正常规律,环境系统始终处于动态平衡之中。人类为谋求生存和发展,就会不断改造自然,打破原有的平衡,并企图建立新的平衡。但人类在改造自然的过程中,常常由于盲目或受到科学技术水平的限制,未能收到预期的效果,甚至得到相反的结果。

生态破坏是指人类活动直接作用于自然生态系统,造成生态系统的生产能力显著减少和结构显著改变,从而引起的环境问题,如过度放牧引起草原退化、滥采滥捕使珍稀物种灭绝和生态系统生产力下降、植被破坏引起水土流失等。环境污染则指人类活动的副产品和废弃物进入环境后,对生态系统产生的一系列扰乱和侵害,由此引起的环境质量的恶化反过来又影响人类自身的生活质量。环境污染不仅包括物质造成的直接化学污染,也包括由物质的物理性质和运动性质引起的污染,如热污染、噪声污染、电磁污染和放射性污染。由环境污染还会衍生出许多环境效应,例如二氧化硫造成的大气污染,除了使大气环境质量下降,还会造成酸雨。

应当注意的是,原生环境问题和次生环境问题往往难以截然分开,它们之间常常存在着某种程度的因果关系和相互作用。

1.1.2 环境问题的产生与发展

环境问题在人类活动的早期就开始了,随着人类破坏环境能力的加强而愈加严重。在人类文明的发祥地如西亚的美索不达米亚、中国的黄河流域等地,由于大规模地毁林垦荒,造成严重的水土流失。工业革命使得生产力得以迅速发展,机械化生产在创造大量财富的同时,在生产过程中排出废弃物,从而造成了环境污染。在世界人口数量不多、生产规模不大的时候,人类活动对环境的影响并不太大,即使发生环境问题也只是局部性的。随着社会生产力和科学技术的高速发展,从自然界攫取资源的能力加强,使得世界人口数量激增(虽然当代呈现少数发达国家人口出生率下降或为负,而不发达国家人口失控的状况,总体来讲,生产力的提高为人口的数量增加提供了基础),人类破坏自然界的能力大大增强,环境的反作用便日益强烈地显露出来,升级为全球性环境问题。

人工制造的各种化合物的种类逐年增加,在这些化学品中,有毒化学品的年产量已达 $4 \times 10^6 \text{ t}$ 。大量人工制造的化合物(包括有毒物质在内)进入环境,在环境中扩散、迁移、累

积和转化，不断地恶化环境，严重威胁着人类和其他生物的生存。从生息在冰原覆盖、荒无人烟的南极大陆上的企鹅体内也检出了农药 DDT，在北极冰盖中也检测到了人工生产的农药成分，说明人类的活动造成的严重后果已经不局限于人工圈而遍及全球，许多有害物质进入人体及其他生物体内还会产生潜在的和远期的危害。曾经以为是非常安全的氟氯烃类化合物从人类活动的对流层飘入了平流层，结果造成近年来日光辐射病日趋严重。这一切已经引起世界各国的普遍关注。

人类活动排放的废弃物，逐渐地超过环境自净能力，从而影响全球的环境质量。在 20 世纪 70 年代，估计全世界每年排入环境的固体废物超过 $3 \times 10^9 \text{ t}$ ，废水约 $(6 \sim 7) \times 10^{11} \text{ t}$ ，废气中一氧化碳和二氧化碳近 $4 \times 10^8 \text{ t}$ ，使得大气和水体的背景值发生改变。大气中的二氧化碳含量（按体积计）已由 19 世纪的 0.028% 增加到现在的 0.032%，如果它的含量继续增高，势必引起全球性的气候异常。工业生产和人类生活取暖过程排放的大量硫氧化物、氮氧化物进入大气，形成酸性污染物，通过沉降作用回到地面，对土壤和水体酸化严重，湖泊水中的氢离子浓度大幅度增加了，鱼产量因而大幅度下降。由于海运、沿海钻探和开采石油、事故溢漏和废物处理排入海洋的石油及其制品达到 500 多万吨，海洋被石油污染，使海洋浮游生物的生存受到严重的威胁。据估计，现在大气圈中的氧气，有四分之一是海洋中的海洋浮游植物通过光合作用而产生的。海洋浮游植物一旦遭到严重的损害，势必影响全球的氧平衡。由于化学物质排放引起了一系列的环境问题，有的对人类造成了直接危害（见表 1-2）。

表 1-2 世界著名八大公害事件(引自黄志桂,1989)

事件和地点	时间	概 况	主要原因
马斯河谷事件 比利时马斯河谷工业区	1930 年 12 月初	出现逆温、浓雾,工厂排出有害气体在近地层积累,一周内约 60 多人死亡	刺激性化学物质损害呼吸道
多诺拉事件 美国工业区	1948 年 10 月底	受反气旋逆温控制,污染物积累不散,4 天内死亡约 17 人,病 5900 人	主要为 SO_2 及其氧化产物损害呼吸系统
伦敦烟雾事件	1952 年 12 月初	浓雾不散,尘埃浓度 4.46 mg/cm^3 , SO_2 质量分数为 1.34×10^{-6} ,3 天内死亡 4000 人	尘埃中的 Fe_2O_3 等金属化合物催化 SO_2 转化成硫酸烟雾
洛杉矶光化学烟雾 美国洛杉矶	1946 ~ 1955 年	城市保有汽车 250 万辆,耗油 1600 万升/日,1955 年事件中,65 岁以上的老人死亡约 400 人,刺激眼睛,损害呼吸系统	HC 、 NO_x 、 CO 等汽车排放物在日光下形成以 O_3 为主,并伴有醛类、过氧硝酸酯等污染物
水俣事件 日本熊本县水俣市	1953 ~ 1956 年	动物与人出现语言、动作、视觉等异常,死 60 余人,病约 300 人	化工厂排出含汞废水,无机汞转化为有机汞,主要是甲基汞,通过食物链转移、浓缩
痛痛病事件 日本富山县神通川下游	1955 ~ 1972 年	矿山废水污染河水,居民骨损害、肾损害,疼痛,死 81 人,患者 130 余人	铅锌冶炼厂排出的含镉废水,污染稻米,危害人群
四日市哮喘事件 日本四日市	1961 ~ 1972 年	日本著名的石油城,哮喘病发病率高,患者 800 余人	降尘酸性高, SO_2 浓度高,导致呼吸系统受损
米糠油事件 日本北九州爱知县	1968 年	食用米糠油后发生中毒,死 16 人,患者 5000 余人	生产米糠油过程中用多氯联苯作为脱臭工艺中的热载体,混入米糠油中

人口的增长和生产活动的增强，造成对环境索取增加。许多资源日益减少，并面临耗竭的危险。由于不合理的耕作制度，世界上被风蚀、盐碱化的土地日益增多。据联合国有关部门估计，土壤由于侵蚀每年损失 $2.4 \times 10^{10} \text{ t}$ ，沙漠化土地每年扩大 $6 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ，世界粮食生产将受到严重威胁。另外，由于原生环境的消失、人类的捕杀和环境污染，世界上的植物和动物遗传资源急剧减少了。估计有 25000 种植物和 1000 多种脊椎动物的种、亚种和变种面临灭绝的危险，这对人类将是无法弥补的损失。

以上事实说明，当今世界上大气、水、土壤和生物所受到的污染和破坏已达到危险的程

度。自然界的生态平衡受到日益严重的干扰,自然资源受到大规模破坏,自然环境正在退化。

环境问题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。有学者将环境问题的历史发展大致分为以下三个阶段。

(1) 生态环境的早期破坏 这个阶段从人类出现开始直到产业革命,跟后两个阶段相比,是一个漫长的时期。但总的说来,这一阶段的人类活动对环境的影响还是局部的,没有达到影响整个生物圈的程度。

(2) 近代城市环境问题 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)是世界史的一个新时期的起点,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跟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)也相继出现将要耗竭的信号。

为了解决环境恶化这个全球性的问题,1992 年 6 月 3 日至 14 日,联合国环境与发展大会在巴西的里约热内卢举行。会议通过了《里约宣言》和《21 世纪议程》两个纲领性文件以及关于森林问题的原则性声明。这是联合国成立以来规模最大、级别最高、影响最为深远的一次国际会议。它标志着人类在环境和发展领域自觉行动的开始,可持续发展已经成为人类的共识和时代的强音。人类开始学习掌握自己的发展命运,摒弃了那种不考虑资源、不顾及环境的生产技术和发展模式。

1.1.3 环境意识

在 1972 年联合国人类环境会议上,关于人与自然环境的诸多新思想体现在《人类环境宣言》的概述中:“自然环境和人类创造的环境对于享受人类幸福、基本人权以至于生存权来说,是最基本和最重要的条件。如果明智地利用人类的力量去改变现在的周围环境,将会给人类带来收益和提高生活水平。反之,不注意运用这些力量,将会给人类带来不可估量的损失”。

在环境科学的诞生阶段,环境科学思想集中体现为“环境质量学说”。环境科学诞生后,主要研究是围绕环境质量进行的,内容有环境污染和生态破坏的机理、污染物迁移转化规律、污染物生态社会效应和危害程度及防治措施、环境质量标准和评价等。环境质量学说认为环境质量是环境的一个基本属性,环境问题实际上是人类不合理活动所造成的环境质量恶化的结果。从环境质量学说的角度看,环境科学各分支学科都是以环境质量为中心、以原有学科的理论和方法研究不同环境要素中环境质量的变化规律以及如何维持和提高环境质量的科学。由此,出现了关于环境科学的第一个公认的定义:环境科学就是研究社会经济发展过程中出现的环境质量变化的科学。环境质量学说作为当时环境科学各分支学科的思想理论基础,使得环境科学在学科形态上初步出现了多分支并存但又统摄于环境质量学说的理论体系和逻辑结构,使得环境科学能在多学科形态时便成为一门公认的新兴独立学科。

1992 年联合国环境与发展大会后,可持续发展思想风靡一时,成为国际组织、各国政府乃至广大公众的指导思想和行动指南。可持续发展的定义——既满足当代人的需要又不对后代人满足其需要能力构成危害的发展,以及公平性、持续性和共同性三个基本原则得到广泛认同。

一般说来,目前环境科学思想包括了以下四个方面的内容。

① 环境系统学说。从系统科学角度研究区域、全球环境问题时所形成的一个新学说，其概念核心是环境系统和人-环境系统。以系统科学为方法论，研究环境系统演化规律及其与人类活动相互间的关系，研究环境系统的结构、功能和状态，研究环境质量、环境承载力的自然（物理、化学、生物）本质和物质基础等。

② 环境质量学说。通过原有环境质量学说进一步的完善和发展，以环境质量为核心概念，研究环境质量与人体健康、生活质量、精神境界的关系，描述和预测环境质量变化规律及其与人类活动的相互关系、如何保护和提高环境质量等。

③ 环境承载力学说。环境承载力概念的提出及其在环境规划、环境影响评价等领域的应用，形成了解释环境问题的起因及解决环境与发展问题的一种新的理论和方法体系。其主要研究内容为环境（包括生态、资源）对经济社会发展活动的承载作用、人类活动对环境承载力的提高和降低作用，如何协调两者的关系。

④ 环境协调学说（管理学）。在环境管理的实践上发展起来的，以环境系统学说、环境质量学说、环境承载力学说为基础，在可持续发展理论的指导下，研究如何运用社会学、经济学、管理学方法在法规、政策、规划等各层次上调整人类的思想和行为，以使环境与社会协调发展。

环境科学思想提供人们思考环境问题的根本思路，是环境科学和环境化学研究者探索人与环境问题的指导，并在学科的发展过程中不断修正和完善。

1.2 环境科学

1.2.1 相关的概念

环境是相对于中心事物而言的。在环境科学中，一般认为环境是指围绕着人群的空间，以及其中可以直接、间接影响人类生活和发展的各种自然因素的总体，也有些人认为环境除自然因素外，还应包括有关的社会因素，即自然环境和社会环境。现在的地球表层大部分受过人类的干预，原生的自然环境已经不多了。环境科学所研究的社会环境是人类在自然环境的基础上，通过长期有意识的社会劳动所创造的人工环境。它是人类物质文明和精神文明发展的标志，并随着人类社会的发展不断丰富和演变。

环境具有多种层次、多种结构，可以作各种不同的划分。一般是按照下述原则来分类的，即按照环境的主体、环境的范围、环境的要素和人类对环境的利用或环境的功能进行分类。

按照环境的主体来分，目前有两种体系：一种是以人或人类作为主体，其他的生命物体和非生命物质都被视为环境要素，即环境就是指人类的生存环境。在环境科学中，多数人采用这种分类法。另一种是以生物体（界）作为环境的主体，不把人以外的生物看成环境要素。在生态学中，往往采用这种分类法。

按照环境的范围大小来分类比较简单。如把环境分为特定空间环境（如航空、航天的密封舱环境等）、车间环境（劳动环境）、生活区环境（如居室环境、院落环境等）、城市环境、区域环境（如流域环境、行政区域环境等）、全球环境和宇宙环境等。

按照环境要素进行分类则较复杂。如按环境要素的属性可分成自然环境和社会环境两类。自然环境虽然由于人类活动发生巨大的变化，但仍按自然的规律发展着。在自然环境中，按其主要的环境组成要素，可再分为大气环境、水环境（如海洋环境、湖泊环境等）、土壤环境、生物环境（如森林环境、草原环境等）、地质环境等。社会环境是人类社会在长期的发展中，为了不断提高人类的物质和文化生活而创造出来的。社会环境常依人类对环境的利用或环境的功能再进行下一级的分类，分为聚落环境（如院落环境、村落环境、城市环