



高等学校教材

环境化学教程

刘兆荣
陈忠明
赵广英
陈旦华

北京大学

编



化学工业出版社
教材出版中心

826

X13-43

L76

高等学校教材

环境化学教程

北京大学

刘兆荣 陈忠明 赵广英 陈旦华 编

化学工业出版社
教材出版中心
·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

环境化学教程/刘兆荣等编. —北京:化学工业出版社,
2003.1
高等学校教材
ISBN 7-5025-3919-0

I. 环… II. 刘… 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 (2002) 第 099696 号

高等学校教材

环境化学教程

北京大学

刘兆荣 陈忠明 赵广英 陈旦华 编

责任编辑:王文峡

责任校对:郑捷

封面设计:蒋艳君

*

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)

发行电话:(010) 64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 20¼ 字数 496 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3919-0/G·1070

定 价: 32.00 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

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
1.1 人类活动和环境问题	1
1.1.1 什么是环境问题	1
1.1.2 环境问题的产生与发展	1
1.2 环境科学	3
1.2.1 相关的概念	3
1.2.2 环境科学的发展	4
1.2.3 环境科学的作用和内容	5
1.3 环境化学	6

1.3.1 环境化学的发展	6
1.3.2 环境化学的研究内容	7
1.3.3 环境化学的特点和研究方法	8
1.4 环境系统和人类活动	9
1.5 能量和能量循环	11
1.6 物质和物质循环	12
1.7 环境意识	13
主要参考文献	14
习题	14

第一部分 大 气 环 境 化 学

第2章 大气圈和大气化学	15
2.1 大气圈的重要性及其物理特性	16
2.1.1 大气环境的结构	16
2.1.2 大气的组分	18
2.2 大气污染和大气化学	20
2.2.1 大气污染物组成分类	21
2.2.2 大气污染物浓度表示法	22
2.3 太阳辐射	22
2.3.1 太阳辐射光谱和太阳常数	22
2.3.2 大气对太阳辐射的削弱作用	23
2.3.3 地面辐射和大气逆辐射	24
2.4 大气能量传输、气象学和气候	24
2.5 逆温和空气污染	26
2.6 大气圈主要物质循环	27
2.6.1 含硫化合物	27
2.6.2 含氮化合物	28
2.6.3 碳氧化物	30
2.6.4 碳氢化合物	31
2.6.5 卤素化合物	32
2.6.6 光化学氧化剂 (O_x)	33
主要参考文献	34
习题	35
第3章 对流层化学	36
3.1 基本光化学反应	36
3.2 重要的自由基来源及转化	37
3.2.1 OH 自由基的来源	37
3.2.2 HO_2 自由基的来源	37

3.2.3 OH 和 HO_2 之间的转化和汇	38
3.3 氮氧化合物的转化	38
3.3.1 NO 向 NO_2 的转化——自由基 反应	38
3.3.2 NO_2 在空气中的光分解过程	38
3.3.3 NO_x 向 HNO_3 和 HNO_2 的转 化——汇	39
3.4 碳氢化合物的转化	39
3.4.1 烷烃	40
3.4.2 烯烃	40
3.4.3 炔烃	40
3.4.4 含氧碳氢化合物	40
3.5 光化学烟雾	41
3.5.1 光化学烟雾的产生	41
3.5.2 形成机理 (Seinfeld 链反应 机理)	42
3.5.3 光化学烟雾的危害	43
3.5.4 光化学烟雾的主要污染源	43
3.5.5 光化学烟雾的防治对策	44
3.6 硫氧化合物的转化	44
3.6.1 SO_2 的气相氧化	44
3.6.2 SO_2 的液相氧化	45
3.6.3 在固体表面的催化氧化	47
3.6.4 硫酸型烟雾	47
主要参考文献	48
习题	48

第4章 酸沉降	49
---------------	----

4.1 酸雨发展及其研究	49	6.5.2 替代物对平流层臭氧的影响	85
4.2 降水的化学性质	50	主要参考文献	87
4.2.1 降水的 pH 值	50	习题	88
4.2.2 降水的化学组成	52	第 7 章 温室效应	89
4.2.3 影响降水酸度的因素	53	7.1 地球热平衡	89
4.3 降水的酸化过程	53	7.2 温室效应	89
4.3.1 云内清除过程 (雨除)	54	7.3 全球变暖	90
4.3.2 云下清除过程 (冲刷)	55	7.4 辐射强迫	90
4.4 酸雨的环境影响及对策	56	7.5 温室气体	93
4.4.1 酸雨的危害	56	7.5.1 二氧化碳	93
4.4.2 控制酸雨对策	57	7.5.2 甲烷	94
主要参考文献	58	7.5.3 氧化亚氮	94
习题	59	7.5.4 卤烃	94
第 5 章 大气颗粒物	60	7.5.5 对流层臭氧	95
5.1 颗粒物的种类和分类	60	7.6 全球变暖潜势 (GWP)	95
5.2 颗粒物的粒径分布	60	主要参考文献	96
5.2.1 颗粒物的粒径	60	习题	96
5.2.2 颗粒物粒径分布	61	第 8 章 人居环境	97
5.2.3 气溶胶粒子的三模态及其特性	64	8.1 室内空气污染问题的由来	97
5.3 二次颗粒物的形成机制	67	8.2 室内气态污染物	98
5.4 颗粒物的源和汇	67	8.2.1 二氧化碳	98
5.4.1 颗粒物的源	67	8.2.2 一氧化碳	98
5.4.2 颗粒物的汇	68	8.2.3 氮氧化物	99
5.5 颗粒物的化学组成	69	8.2.4 二氧化硫	100
5.5.1 无机颗粒物	69	8.2.5 臭氧	100
5.5.2 有机颗粒物	70	8.2.6 多环芳烃	101
5.5.3 生物颗粒物	73	8.2.7 苯并 [a] 芘	101
5.6 颗粒物的环境健康效应	75	8.2.8 甲醛	101
主要参考文献	75	8.2.9 挥发性有机化合物	102
习题	76	8.3 室内颗粒物污染物	103
第 6 章 平流层臭氧	77	8.3.1 石棉	103
6.1 平流层臭氧	77	8.3.2 尘和尘螨	104
6.2 平流层臭氧的形成和破坏	77	8.3.3 铅	104
6.2.1 平流层臭氧化学	77	8.3.4 微生物	104
6.2.2 极地臭氧“空洞”及其形成 机制	79	8.3.5 霉菌	105
6.2.3 臭氧耗损的后果	81	8.3.6 总悬浮颗粒物	105
6.3 臭氧层耗损物质	82	8.4 室内放射性污染物	105
6.3.1 氯氟烃类化合物	82	8.5 室内空气质量控制	107
6.3.2 哈龙类化合物	83	8.5.1 室内质量控制途径	107
6.3.3 其他化合物	83	8.5.2 室内空气质量控制模式	109
6.4 保护臭氧层国际公约	83	8.6 绿色建筑和室内环境	109
6.5 替代化合物	84	主要参考文献	111
6.5.1 替代物的种类	84	习题	112

第二部分 水环境化学

第9章 水环境	113
9.1 天然水系的组成和性质	113
9.1.1 水分子的结构和化学特性	113
9.1.2 海洋	114
9.1.3 河流	115
9.1.4 湖泊	115
9.1.5 降水	116
9.1.6 地面水的循环与水体污染	116
9.1.7 地下水	116
9.1.8 天然水体中的异相物质	117
9.2 水体中主要离子成分的形成	119
9.3 水体中的溶解氧等溶解性气体	120
9.3.1 溶解氧	120
9.3.2 二氧化碳	123
9.4 天然水的水质指标	124
9.4.1 水的纯净度	124
9.4.2 水质指标	124
9.4.3 水质标准和水质分析	125
主要参考文献	127
习题	128
第10章 水化学	129
10.1 天然水中的酸碱化学平衡	129
10.1.1 酸碱质子理论	129
10.1.2 酸和碱的种类	130
10.1.3 酸和碱的强度	130
10.1.4 平衡计算	131
10.1.5 酸碱缓冲容量	132
10.1.6 碳酸平衡	132
10.1.7 碱度和碳酸盐碱度	134
10.1.8 酸碱化学原理在水处理技术 中的应用	136
10.2 水体中的沉淀和溶解基本原理	137
10.2.1 溶解和沉淀的基本概念	137
10.2.2 水体中物质的沉积过程	137
10.3 氧化还原技术在水处理中的应用	143
10.3.1 水处理过程氧化还原技术概述	143
10.3.2 化学氧化还原反应	144
10.3.3 生物氧化还原反应	146
10.3.4 能斯特方程及其电子活度表 达式	147
10.4 配位平衡	147
10.4.1 天然水体的螯合作用	147
10.4.2 水体中常见的配位体和配合物 类型	148
10.4.3 羟基配合物与水处理过程中的 混凝剂	150
10.4.4 混凝沉淀应用实例	151
10.4.5 天然螯合剂	151
10.5 吸附平衡	152
主要参考文献	152
习题	153
第11章 水体主要污染物及治理	154
11.1 水体污染概述	154
11.2 水体污染物的来源	154
11.3 水体中富营养污染物	155
11.4 水体中有机污染物	156
11.4.1 有机污染物来源及有关水质 指标	156
11.4.2 有机污染物参数测定	157
11.4.3 有机物降解	157
11.5 水体中芳烃类污染物	157
11.5.1 水体中的芳烃类污染物	157
11.5.2 环境激素	158
11.6 合成洗涤剂	158
11.7 放射性污染物	159
11.8 水中有机物与人体健康	159
11.8.1 有毒有害的有机物	159
11.8.2 藻毒素	160
11.9 水处理方法	160
11.10 污染的水源、饮用水对人体健康 的危害	163
11.11 优质饮用水的处理及实施	163
11.11.1 分质供水	164
11.11.2 健康饮水的试验性研究	165
11.12 污水回用	165
11.13 节约用水	166
11.13.1 节约用水的重要性	166
11.13.2 水资源不合理使用与浪费	167
11.13.3 有效的节水措施	167
11.13.4 水危机的特殊性	167
主要参考文献	168
习题	168
第12章 膜化学原理在水处理中的 应用	170

12.1 概述	170	13.2.1 水体中常见可溶性无机物在好 氧条件下的基本存在形态	185
12.2 反渗透和纳滤	170	13.2.2 水体中重金属污染物——镉的 迁移转化	186
12.2.1 反渗透膜的主要特性参数	171	13.2.3 水体中铅污染物的迁移转化	186
12.2.2 主要的反渗透膜及其分离 性能	172	13.2.4 汞的迁移转化	187
12.2.3 反渗透膜组件及反渗透系统 流程	172	13.3 重金属迁移转化原理	187
12.2.4 反渗透系统的应用	178	13.3.1 配合作用与重金属的迁移	188
12.3 超滤	178	13.3.2 其他化学作用对重金属迁移 的影响	189
12.3.1 超滤的基本理论	178	13.4 污染物在水处理系统中的综合迁移 转化	189
12.3.2 超滤系统的设计	179	13.4.1 污染物在水环境中的运动 特征	190
12.4 微滤	180	13.4.2 污染物的水体推流迁移过程	190
12.4.1 微滤系统的设计	181	13.4.3 分散作用	190
12.4.2 微滤系统膜组件的应用	182	13.4.4 污染物的衰减和转化	191
12.5 电渗析	182	13.5 有机物的生物富集	191
主要参考文献	183	13.6 金属元素与人体健康	192
习题	183	13.6.1 水中微量钙元素与人体健康	192
第 13 章 水体中污染物的迁移转化	184	13.6.2 水中微量金属元素与人体 健康	193
13.1 水体中主要有有机污染物的迁移 转化	184	主要参考文献	193
13.1.1 有机污染物的迁移转化	184	习题	194
13.1.2 有机物的水解作用	184		
13.1.3 有机物生物氧化分解作用	185		
13.1.4 挥发	185		
13.2 天然水体中无机物的迁移转化	185		

第三部分 土壤环境化学

第 14 章 土壤的组成和性质	195	第 15 章 土壤环境的污染	207
14.1 土壤的组成	195	15.1 土壤污染的概念	207
14.1.1 土壤矿物质	196	15.2 土壤的污染源	208
14.1.2 土壤有机质	197	15.2.1 天然源	208
14.1.3 土壤生物	198	15.2.2 人为源	208
14.1.4 土壤溶液	198	15.3 土壤污染物	208
14.1.5 土壤空气	199	主要参考文献	209
14.2 土壤的剖面构形	199	习题	209
14.3 土壤的粒级分类与质地分类	200	第 16 章 土壤重金属污染化学	210
14.3.1 土壤的粒级分类	200	16.1 土壤中重金属的存在形态	210
14.3.2 土壤质地分类	200	16.2 土壤中重金属的迁移转化	211
14.4 土壤的基本性质	201	16.2.1 土壤胶体对重金属的吸附 作用	211
14.4.1 土壤的吸附性	201	16.2.2 土壤中重金属的配合作用	212
14.4.2 土壤的酸碱性	204	16.2.3 土壤中重金属的沉淀和溶解 作用	213
14.4.3 土壤的氧化还原性	205	16.2.4 土壤中重金属的生物转化	214
主要参考文献	206		
习题	206		

16.3 主要重金属在土壤中的行为	214
16.3.1 汞 (Hg)	214
16.3.2 镉 (Cd)	216
16.3.3 铅 (Pb)	217
16.3.4 铬 (Cr)	217
16.3.5 砷 (As)	218
主要参考文献	219
习题	219

第 17 章 化学农药在土壤中的迁移

转化	220
17.1 化学农药在土壤中的行为及其影响因素	221
17.2 农药在土壤环境中的吸附作用	222
17.2.1 土壤中农药吸附作用的机理	222
17.2.2 土壤中农药吸附作用的影响因素	222
17.2.3 土壤中农药的吸附等温式	223
17.3 化学农药在土壤的迁移	224
17.4 化学农药在土壤中的降解	226
17.4.1 光化学降解	226
17.4.2 化学降解	227
17.4.3 微生物降解	228
17.5 化学农药在土壤环境中的残留性及危害	230
主要参考文献	232
习题	232

第 18 章 化学肥料在土壤环境中的

行为	233
----------	-----

18.1 化肥在土壤环境中的迁移转化	234
18.1.1 土壤中氮肥的迁移转化	234
18.1.2 土壤中磷肥的转化	237
18.2 化学肥料对环境的影响	238
18.2.1 对土壤环境的影响	238
18.2.2 对水环境的影响	239
18.2.3 对大气环境的影响	239
18.2.4 对生物的危害	239
主要参考文献	240
习题	240

第 19 章 固体废物及其对土壤的

污染	241
19.1 固体废物	241
19.1.1 固体废物的分类、来源及主要组成	241
19.1.2 固体废物的排放状况及特点	242
19.1.3 固体废物的处理、处置方法	242
19.2 固体废物对土壤环境的影响	243
主要参考文献	244
习题	244

第 20 章 土壤污染的防治

20.1 弄清和控制土壤的污染源和污染途径	245
20.2 污染土壤的治理	246
主要参考文献	247
习题	247

第四部分 环境化学其他专题

第 21 章 资源与工业生态

21.1 资源的利用和危机	248
21.2 能源和能量转化	248
21.2.1 什么是能源	248
21.2.2 能源利用及其问题	249
21.2.3 能量转化	250
21.3 常规能源	251
21.3.1 煤炭	251
21.3.2 石油	253
21.3.3 天然气	253
21.4 希望能源	254
21.4.1 水能	254
21.4.2 核能	255

21.4.3 太阳能	257
21.4.4 地热能	258
21.4.5 风能	259
21.4.6 生物能	260
21.4.7 海洋能	260
21.4.8 氢能	261
21.5 矿产资源	262
21.5.1 金属矿产	262
21.5.2 非金属矿产	264
21.6 工业废物及其处理	265
21.6.1 工业废物	265
21.6.2 工业废物的一般处理	267
21.7 清洁生产	268

21.7.1 清洁生产的提出	268	23.2.1 协同作用	295
21.7.2 清洁生产的内容和实施	270	23.2.2 相加作用	295
21.7.3 清洁生产在中国的发展	271	23.2.3 对抗作用	295
21.8 工业生态学	272	23.3 严重毒作用机制	295
21.8.1 工业生态学的发展	272	23.3.1 致突变作用	295
21.8.2 工业生态学的研究	274	23.3.2 致癌作用	296
21.8.3 工业生态学的实际应用	274	23.3.3 致畸作用	298
21.8.4 21 世纪的工业生态学	276	23.4 元素有毒物	299
主要参考文献	277	23.4.1 非金属有毒物	299
习题	278	23.4.2 金属有毒物	299
第 22 章 环境生物化学	279	23.5 有毒无机化合物	300
22.1 生物化学	279	23.5.1 氰化物	300
22.2 生物分子	279	23.5.2 一氧化碳	300
22.2.1 蛋白质	279	23.5.3 氮氧化物	300
22.2.2 糖类	281	23.5.4 卤代氢	300
22.2.3 脂类	282	23.5.5 无机硅化合物	301
22.2.4 核酸	283	23.5.6 石棉	301
22.2.5 酶	284	23.5.7 无机磷化合物	301
22.3 细胞	285	23.5.8 无机硫化合物	302
22.3.1 细胞的主要特征	285	23.5.9 有机金属化合物	302
22.3.2 细胞的组成	286	23.6 有机化合物毒性	303
22.4 代谢过程	287	23.6.1 烷烃	303
22.5 有毒物代谢	288	23.6.2 烯烃和炔烃	303
22.5.1 有毒物	288	23.6.3 苯和芳香族碳氢	303
22.5.2 有毒物代谢	289	23.6.4 含氧有机化合物	304
22.6 有毒物干扰酶功能的机制	290	23.6.5 有机氮化合物	306
22.7 有毒物进入人体的途径	291	23.6.6 有机卤代化合物	306
主要参考文献	292	23.6.7 有机硫化合物	307
习题	293	23.6.8 有机磷化合物	307
第 23 章 有毒物化学	294	23.6.9 有机农药	308
23.1 有毒物剂量和相对毒性	294	23.6.10 军事毒气	309
23.1.1 有毒物剂量	294	主要参考文献	310
23.1.2 相对毒性	294	习题	310
23.2 有毒物联合作用	295		

第1章 绪 论

1.1 人类活动和环境问题

1.1.1 什么是环境问题

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，然后将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的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。

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，特别是当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的时候。环境污染不仅包括物质造成的直接污染，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 4×10^6 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 3×10^9 t，废水约 $(6 \sim 7) \times 10^{11}$ t，废气中一氧化碳和二氧化碳近 4×10^8 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 0-1）。

表 0-1 世界著名八大公害事件(引自黄志桂,1989 年)

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 $4.46\text{mg}/\text{cm}^3$, 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。

1.2 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、城市环境）、生产环境（如工厂环境、矿山环境、农场环境、林场环境、果园环境等）、交通环境（如机场环境、港口环境）、文化环境（如学校及文化教育区、文物古迹保护区、风景游览区和自然保护区）等。

环境质量一般是指在一个具体的环境内，环境的总体或环境的某些要素，对人群的生存和繁衍以及社会经济发展的适宜程度，是反映人类的具体要求而形成的对环境评定的一种概念。到 20 世纪 60 年代，随着环境问题的出现，常用环境质量的好坏来表示环境遭受污染的程度。

环境科学所指的环境是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要素和社会要素的总体。所以环境质量的优劣是根据人类的某种要求而定的。从另一方面看，控制污染、保护环境、改造自然和合理利用资源等，都可属于改善环境质量的范畴。这样，环境质量又具有人类与环境相协调程度的含义。

环境科学是把环境作为一个整体进行综合研究的。环境中的各种资源同人类之间，都处于动态平衡之中。因此在不同的生产力发展水平，环境对人口的承载量都有一个平衡值或最佳点，如果超出这个平衡值，则必然会使环境质量下降或者使人类生活水平下降。所以人类在改造环境中，必须使自身同环境保持动态平衡关系——可持续发展（sustainable development）。

1.2.2 环境科学的发展

一般认为，环境科学的发展经历两个阶段。第一阶段是 20 世纪 50~70 年代，一系列分门别类的环境科学分支学科的形成标志着环境科学的诞生。

最早提出“环境科学”这一名词的是美国学者。当时指的是研究宇宙飞船中人工环境问题。1964 年国际科学联合会理事会议设立了国际生物方案，研究生产力和人类福利的生物基础。国际水文 10 年和全球大气研究方案，也促使人们重视水的问题和气候变化问题。1968 年国际科学联合会理事会设立了环境问题科学委员会。20 世纪 70 年代出现了以环境科学为书名的综合性专门著作。1972 年英国经济学家 B. 沃德和美国微生物学家 R. 杜博斯主编出版了《只有一个地球》一书，副标题是“对一个小小行星的关怀和维护”。这认为是环

境科学的一部绪论性质的著作。不过这个时期有关环境问题的著作，大部分是研究污染或公害问题的。20 世纪 70 年代后期，人们认识到环境问题不再仅仅是排放污染物所引起的人类健康问题，而且包括自然保护和生态平衡，以及维持人类生存发展的资源问题。

第二阶段是 20 世纪 80 年代后，随着可持续发展理论的兴起和全球性环境问题的突出，环境科学研究内容有了进一步的扩展。现在，环境科学的理论和方法已经渗透到了社会发展的各个方面，从污染治理到自然生态保护、从公众的日常生活到国民经济规划的制订，环境科学已经成为社会和科学发展中不可缺少的重要部分。环境科学是在环境问题日益严重后产生和发展起来的一门综合性科学，此前在各个有关学科探索过程中积累的基础科学知识和应用技术，成为解决环境问题的基本原理和方法。到目前为止，这门学科的理论和方法还处在发展之中。

1.2.3 环境科学的作用和内容

环境科学从提出到现在，只不过几十年的历史。然而，这门新兴科学发展异常迅速，其作用在于以下两方面。

(1) 推动了自然科学各个学科的发展。自然科学是研究自然现象及其变化规律的，各个学科从不同的角度探索和认识自然。20 世纪以来科学技术日新月异，人类改造自然的能力大大增强，自然界对人类的反作用也日益显示出来。环境问题的出现，使自然科学的许多学科把人类活动产生的影响纳入其重要研究内容，从而在这些学科的发展深度和广度方面深化，推动了它们的发展，同时也促进了学科之间的相互渗透。

(2) 推动了科学整体化研究。环境是一个完整的、有机的系统，是一个整体。各门自然科学都是从本学科角度探讨自然环境中的各种现象，在单一视角方面对某些环境问题有深刻的认识，但是对相互关联的诸多环境要素，必须全面考虑，实行跨部门、跨学科的合作。环境科学就是在科学整体化过程中，以生态学和地球化学的理论和方法作为主要依据，充分运用化学、生物学、地学、物理学、数学、医学、工程学以及社会学、经济学、法学、管理学等各种学科的知识，对人类活动引起的环境变化、对人类的影响及其控制途径进行系统的综合研究。

目前，在环境问题研究上主要趋势是：以整体观念剖析环境问题；更加注意研究生命维持系统；扩大生态学原理的应用范围；提高环境监测的效率；注意全球性问题。这些趋势改变了以大气、水、土壤、生物等自然介质来划分环境的做法，要求环境科学从环境整体出发，实行跨学科合作，进行系统分析，以宏观和微观相结合的方法进行研究。这些都将促进环境科学的进一步发展。

20 世纪 50 年代出现环境科学概念，属于边缘学科，现有分支学科如表 0-2（以主要关注的污染物 SO₂ 为例说明）。从中可以看到本门学科具有纵向联系，同时各分支学科间具有横向关联。

表 0-2 环境科学的学科分支

环境地学	环境物理	SO ₂ 进入大气后的扩散、传输规律
	环境地理	SO ₂ 及其转化产物在土壤、水体中规律
环境化学	环境污染化学	SO ₂ 在大气中转化规律
	环境污染分析	检定和测量 SO ₂ 在大气、水体中迁移、分布规律，土壤中含量、形态
	污染生态化学	生态效应原理、机制
	污染控制化学	治理当中的化学问题

续表

环境生物学		SO ₂ 及其转化产物在动植物体内分布、迁移规律
环境医学		SO ₂ 及其转化产物对人体健康影响
环境工程学		SO ₂ 及其转化产物治理技术
环境社会学	环境法学	SO ₂ 污染标准制定和法制建立
	环境经济学	SO ₂ 治理中经济效益和经营管理

1.3 环境化学

1.3.1 环境化学的发展

环境化学主要研究化学物质在环境中的存在、转化、行为和效应及其控制的原理和方法，是化学科学的一个新的重要分支，也是环境科学的核心组成部分。根据国家自然科学基金委员会《自然科学学科发展战略调研报告》的划分，环境化学的研究主要包括环境分析化学，大气、水体和土壤环境化学，污染生态化学，污染控制化学等。

环境化学的发展大致可分为三个阶段：1970 年以前为孕育阶段，20 世纪 70 年代为形成阶段，80 年代以后为发展阶段。

二次大战以后至 20 世纪 60 年代，发达国家经济从恢复逐步走向高速发展，由于当时只注意经济的发展而忽视了环境保护，污染环境和危害人体健康的事件接连发生，事实促使人们开始研究和寻找污染控制途径，力求人与自然的协调发展。20 世纪 60 年代初，由于当时有机氯农药污染的发现，农药中环境残留行为的研究就已经开始。这个阶段是环境化学的孕育阶段。

到了 20 世纪 70 年代，为推动国际重大环境前沿性问题的研究，国际科联 1969 年成立了环境问题专门委员会（SCOPE），1971 年出版了第一部专著《全球环境监测》，随后，在 20 世纪 70 年代陆续出版了一系列与环境化学有关的专著，这些专著在 20 世纪 70 年代环境化学研究和发展中起了重要作用。1972 年在瑞典斯德哥尔摩召开了联合国人类环境会议，成立了联合国环境规划署（UNEP），确立了一系列研究计划，相继建立了全球环境监测系统（GEMS）和国际潜在有毒化学品登记机构（IRPTC），并促进各国建立相应的环境保护机构和学术研究机构。

20 世纪 80 年代全面地开展了对各主要元素，尤其是生命必需元素的生物地球化学循环和各主要元素之间的相互作用、人类活动对这些循环产生的干扰和影响以及对这些循环有重大影响的种种因素的研究；重视了化学品安全性评价；开展了全球变化研究；涉及臭氧层破坏、温室效应等全球性环境问题，同时加强了污染控制化学的研究范围。

国际纯粹与应用化学联合会（IUPAC）于 1989 年制订了“化学与环境”研究计划，开展了空气、水、土壤、生物和食品中化学品测定分析等六个专题的研究。1991 年和 1993 年在中国北京召开的亚洲化学大会和 IUPAC 会议上，环境化学均是重要议题之一。1992 年在巴西里约热内卢召开的联合国环境与发展会议（UNCED），国际科联组织了数十个学科的国际学术机构开展环境问题的研究。

1995 年诺贝尔化学奖第一次授予三位环境化学家 Crutzen、Rowland 和 Molina，他们首先提出平流层臭氧破坏的化学机制。Crutzen 于 1970 年提出了 NO_x 理论，Rowland 和 Molina 于 1974 年提出了 CFCs 理论，这几位化学家的实验室模拟结果在现实环境中得到验

证。从发现平流层中氧化氮可以被紫外辐射分解而破坏全球范围的臭氧层开始,追踪对流层大气中十分稳定的 CFCs 类化学物质扩散进入平流层的同样归宿,阐明了影响臭氧层厚度的化学机理,使人类可以对耗损臭氧的化学物质进行控制。这些理论的研究成果因 1985 年南极“臭氧洞”的发现而引起全世界的震动,从而导致 1987 年《蒙特利尔议定书》的签订。

中国的环境化学研究也已经有了 20 多年的历史,自 20 世纪 70 年代起,在典型地区环境质量评价,环境容量和环境背景值调查,污染源普查,围绕工业“三废”污染,在大气、水体、土壤中环境污染物的表征、迁移转化规律,生物效应以及控制等方面进行了大量的工作。在有毒污染物环境化学行为和生态毒理效应、水体颗粒物和环境工程技术、大气化学和光化学反应动力学、对流层臭氧化学、区域酸雨的形成和控制、天然有机物环境地球化学、有毒有机物结构效应关系、废水无害化和资源化原理与途径等方面的工作分别得到了国家自然科学基金、国家科技攻关、中国科学院重大、重点等项目的支持,取得了一批具有创新性的研究成果。在酸雨测量技术、形成机制、物理化学特征、高空云雨化学、大气酸性污染物来源和沉降过程等方面取得重要成果,在天然源研究、区域酸沉降模式和酸雨成因、能源与环境协调规划、酸雨区域综合防治和临界负荷的研究方法等方面达到国际先进水平,获国家科技进步一等奖。

随着国家对环境污染问题的重视和公众环境保护意识的提高,跨世纪的环境化学任重道远。无论是控制或防治环境污染和生态恶化,还是从改善环境质量、保护人体健康、促进国民经济的持续发展等各个方面,环境化学都可以发挥重要作用。在环境监测、大气复合污染的化学机制、污染评价与防治对策、水体中复合污染及土壤多介质污染机制研究、有毒化学品生态效应及危险性评价、内分泌干扰物质的筛选、污染控制原理、环境修复技术等诸多领域,环境分析化学、大气、水体和土壤环境化学、污染生态化学、污染控制化学等分支学科都面临着挑战和良好的发展机遇。

1.3.2 环境化学的研究内容

环境化学主要的研究领域如下。

(1) 环境污染化学,是研究化学污染物在环境中的变化,包括迁移、转化过程中的化学行为、反应机理、积累和归宿等方面的规律。化学污染物在大气、水体、土壤中迁移,并伴随着发生一系列化学的、物理的变化,形成了大气污染化学、水污染化学、土壤污染化学和污染生态化学(图 0-1 和图 0-2)。

在环境这个开放体系中,参与反应的物质品种多,含量低,反应复杂,影响因素很多,促进反应的光能和热能又难以准确模拟,因此必须发展新的技术和理论来进行研究。如近年来运用系统分析方法,研究多元和多介质体系中污染物迁移和转化反应机理,就为进行环境污染的预测、预报,以及环境质量评价等提供了科学的依据。

(2) 环境分析化学和环境监测,是取得环境污染各种数据的主要手段,必须运用化学分析技术,测量化学物质在环境中

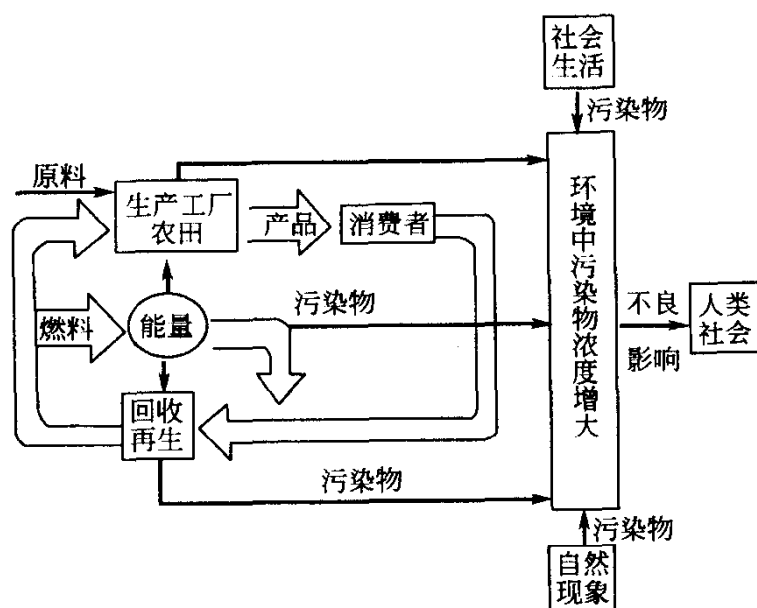


图 0-1 环境污染概念图