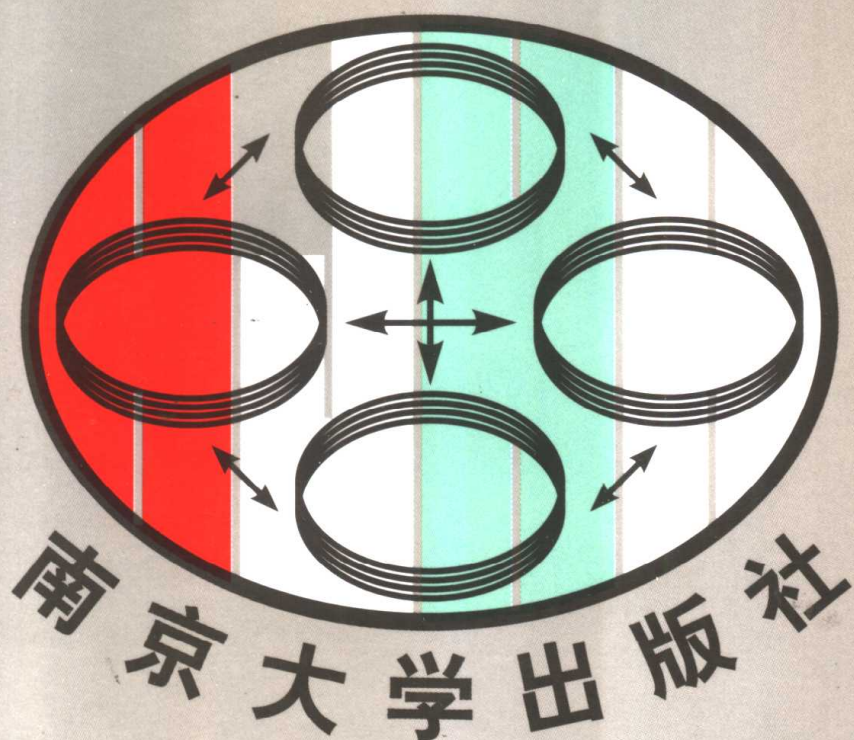


环境化学

HUAXI



王晓蓉
编著

内 容 简 介

本书共四篇十九章,包括水环境化学、大气环境化学、土壤环境化学及化学物质的生物效应和生态效应,较全面地介绍了环境化学的主要内容和最新进展、阐述了运用化学理论和方法研究潜在有害化学物质在环境中迁移、转化和归趋规律及对生态环境的影响。对有机毒物的归趋模式、金属存在形态及生物有效性、化学物质结构与毒性关系,污染物的生物效应和生物浓缩机理以及全球关心的温室效应、酸雨、臭氧层破坏等环境问题,均在有关章节中进行详细介绍。全书以阐明基本原理为主,注意反映国内外研究进展和成果,使化学与环境问题紧密结合,并且有强烈的多学科特点。每章均配备一定数量的问题和练习。

本书可作为高等院校环境科学有关专业高年级或研究生的教材或参考书,也可供从事环境保护和环境科学研究工作的专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

环境化学/王晓蓉编著. —南京:南京大学出版社,
1993.11(2001.4重印)
ISBN 7-305-02109-1

I. 环… II. 王… III. 环境化学 IV. X13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 021712 号

环 境 化 学

Huanjing Huaxue

王 晓 蓉 编 著

*

南京大学出版社出版

(南京大学校内 邮政编码: 210093)

江苏省新华书店发行 江苏丹阳兴华印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 1/16 印张: 23.75 字数: 601 千

1993 年 11 月第 1 版 2001 年 4 月第 4 次印刷

印数: 5501—8500

ISBN 7-305-02109-1/X·12

定价: 25.00 元

代 序

环境化学是随着人类社会的发展相继出现的环境问题而发展起来的新兴学科,它是环境科学的核心组成部分,也逐渐成为化学学科的一个重要分支。美国化学会在 80 年代初曾组织 300 多位化学家经过三年反复研讨,于 1985 年出版《化学中的机会》以及 1987 年改编出版《化学中的机会——今天和明天》两书中,都对环境化学的地位和任务作了专门章节论述。1989 年国际纯粹和应用化学联合会(IUPAC)专门制定了“化学和环境”的研究计划,提出了环境化学的研究任务和方向。

由于环境化学是环境与化学的综合和交叉学科,环境中的化学污染物质(或称有毒有害化学物质)可以发生种种化学变化,它决定了环境化学研究对象是多组分、多介质的复杂体系。为了解化学污染物在环境中的存在和分布,不仅要对污染物质进行表征和检测,还需要研究它们在环境中的形态变化、迁移转化、积累、归宿和生物效应等等,这需要应用化学、生物、地学、水文地质和气象等学科的基础理论和方法进行多学科的综合研究,这不仅将大大丰富环境化学的研究内容,也将为环境化学和其它学科相互渗透、相互促进提供了许多新的生长点。

当前环境问题已成为全球关注的一大热点。1992 年 6 月在巴西里约热内卢联合国召开的“全球最高会议”,把保护环境和发 展经济相协调的“持续发展”主题,提上了 21 世纪政府、工业界和全社会的中心议程。这对环境科学为环境保护决策提供科学依据所发挥的核心作用将有很大的推动力。在我国,环境污染防治仍然是我国 21 世纪行动计划中的一大任务,在环境污染问题的认识、阐明和解决中,环境化学也仍将发挥它的重大作用。

我国从 80 年代开始,一些高等院校相继开设《环境化学》课程,并积极进行教材建设,编写了一些各有侧重和特色的教材,推动了环境化学教学的开展。最近国家自然科学基金委员会组织有关专家编写《自然科学学科发展战略研究报告:环境化学》,这将对环境化学学科的发展产生深远影响。

本书作者在长期的教学和科研实践中,积累了丰富的经验和资料。本书全面地介绍了环境化学内容和最新进展,阐述了运用化学理论和方法研究环境中潜在有害有毒化学物质在环境中的迁移、转化和归趋规律及其生物、生态影响,同时对全球关注的温室效应,臭氧层破坏等问题及其研究进展作了介绍,对我国的环境化学发展方向和内容也有所介绍。

本书内容丰富,涉及学科领域广泛,论述问题具有相当深度,也反映了我国环境化学的特色。它在当前出版,是十分需要的,也是很及时的。我很乐意向读者推荐,希望本书的出版,有助于环境化学教学水平的进一步提高,对从事环境化学研究工作或对环境化学工作关心者也有所裨益。

中国科学院生态环境研究中心

刘 静 宜

1993 年 9 月北京

前 言

环境化学是运用化学科学的理论和方法,去探索认识环境问题的本质,并为之提供科学解决办法的过程中发展起来的一门新兴学科。它是化学学科的一个重要分支,也是环境科学的核心组成部分。1985年美国化学会出版的《化学中的机会》和1987年出版的《化学中的机会——今天和明天》,都有专门章节论述环境化学的任务和方向。随着世界对环境问题的日益关注,以及人们对改善环境和持续发展的迫切愿望,为环境化学的发展提供了广阔的发展天地,反过来也不断充实和丰富环境化学学科的内容。

我国十分重视环境化学学科的发展,国家自然科学基金委员会化学部1990年组织有关专家编写《自然科学学科发展战略研究报告:环境化学》,明确提出了环境化学学科应包括环境分析化学、环境污染化学和污染控制化学。由于我们已把“环境分析化学”和“污染控制化学”分别单独作为一门课程,故本书主要是介绍“环境污染化学”内容。

为了使广大读者对环境化学内容有较全面的了解,本书把环境化学分为四篇,共十九章。第一篇是水环境化学,共七章。着重介绍天然水体的组成和性质,溶解和沉淀,氧化和还原,配合作用及固液界面间相互作用等基本原理在环境化学中的应用,对主要有毒难降解污染物的环境行为及归趋模式均有详细述及。第二篇大气环境化学,共四章。着重介绍大气的基本性质和组成,污染物的源和汇,大气中主要的气相反应和液相反应以及大气颗粒物性质等基本概念和基本原理。对于酸雨、温室效应及臭氧层破坏等全球关注的大气问题,都在相应的液相和气相反应中涉及。第三篇土壤环境化学,共四章。着重介绍土壤主要的理化性质,重金属及氮、磷营养物质在土壤环境中的迁移、积累以及有机农药等污染物在土壤中的降解途径和持留,有关环境条件变化对污染物在土壤中迁移转化的影响也将一并介绍。第四篇化学物质的生物效应和生态效应,共四章。着重介绍金属形态的生物有效性,污染物的微生物转化,化学物质的生物吸收和生物浓缩机理以及对人体健康的影响,同时也涉及有机物与毒性关系的环境理论化学方面的内容。全书以阐明基本原理为主,注意吸收和反映当今全世界所关注的环境问题和国内外研究进展及成果,使化学和环境问题紧密结合,并且有强烈的多学科特点。每章均配备一定数量的问题和练习。

《环境化学》为南京大学环境化学专业主干课,已讲授多年,本书就是在此基础上完成的。编写过程中,得到环境化学专业委员会刘静宜教授的关心和支持,并为本书作序。我系王连生教授、许鸥泳教授均对本书内容的选定和编排提出了许多宝贵意见。修改稿曾在88级和89级环境化学专业学生中使用,他们也对本书的内容安排提出不少宝贵意见。本书定稿后,王连生教授仔细审阅全部书稿,许鸥泳教授、汪安璞教授、彭安教授、薛家骅教授、薛继澄副教授、徐光壁副教授和马文漪副教授等分别审阅有关篇、章,对本书内容安排、文字表达等各方面均提出了宝贵意见,特此致谢。

本书在教学实践过程中,得到南京大学环境科学与工程系领导、环境化学教研室同事们及

同学们多方支持。华兆哲、吴重华、石正方和王晓书等同志帮助抄写部分书稿，高松亭同志为本书清绘图表，南京大学出版社丁益副编审为本书出版进行了认真细致的编辑加工，在此一并表示衷心感谢。

本书内容涉及领域广泛且又是一门新兴学科，许多论点尚不够成熟或尚未定论，限于作者水平有限，在内容选取和论点的陈述方面难免有许多疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

需指出的是，本书已尽可能使用法定计量单位。但对某些引证性历史资料的单位，恐改换后不能反映原作者的意思，故仍保留使用原单位，敬请读者注意。

王晓蓉

1993年1月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 环境化学的形成	1
1.2 环境化学的特点	3
1.3 环境化学的研究对象、任务和范围.....	3
1.4 环境化学发展动向	4
一、环境分析化学和化学形态研究	4
二、环境胶体化学和界面化学	4
三、环境化学动态学	5
四、大气污染化学	5
五、有害环境化学物质的评价及控制	6
本章基本要求.....	7
阅读资料.....	7
思考与练习.....	7

第一篇 水环境化学

第二章 天然水的性质和组成	9
2.1 水质概况	9
2.2 天然水的组成	9
一、天然水化学组成的形成过程	11
二、天然水中的主要离子组成	14
三、水中的金属离子	14
四、溶解在水中的气体	15
五、水生生物	17
2.3 天然水的性质	18
一、碳酸平衡	18
二、天然水的碱度和酸度	21
三、天然水体的缓冲能力	23
四、水的硬度	26
2.4 天然水的分类	26
本章基本要求.....	27
阅读材料.....	27
思考与练习.....	28
第三章 水环境中的溶解和沉淀作用	29
3.1 溶解和沉淀作用在水环境中的意义	29

3.2 溶解和沉淀的动力学过程	29
一、沉淀过程	29
二、溶解过程	30
3.3 天然水各类固体的溶解度	30
一、氧化物和氢氧化物	30
二、硫化物	32
三、碳酸盐	33
3.4 水溶液中不同固相的稳定性	36
3.5 水的稳定性	38
本章基本要求	39
阅读材料	40
思考与练习	40
第四章 水环境中的配合作用	41
4.1 天然水体中的配合作用	41
4.2 配合物在溶液中的稳定性	43
4.3 羟基对重金属离子的配合作用	45
4.4 整合剂NTA 的配合作用	47
一、NTA 对金属的配合作用	47
二、NTA 与金属氢氧化物的作用	50
三、NTA 与微溶盐的作用	50
四、 Ca^{2+} 离子对 NTA 与微溶盐作用的影响	52
4.5 腐殖质的配合作用	53
4.6 有机配位体对重金属迁移的影响	56
一、影响颗粒物(悬浮物或沉积物)对重金属的吸附	56
二、影响重金属化合物的溶解度	57
本章基本要求	57
阅读材料	58
思考与练习	58
第五章 天然水中的氧化-还原平衡	59
5.1 天然水中氧化-还原平衡的意义	59
5.2 电子活度和氧化还原电位	60
一、电子活度的概念	60
二、氧化还原电位 E 和 pE 的关系	60
三、相对反应趋势及氧化-还原平衡	61
四、 E 和 pE 与自由能的关系	63
5.3 天然水体的 pE — pH 图	63
一、水的氧化还原限度	64
二、 pE — pH 图	64
三、天然水的 pE	66
5.4 天然水中污染物的氧化还原转化	68
一、重金属元素的氧化还原转化	68

二、无机氮化物的氧化还原转化	68
三、无机硫的氧化还原转化	71
四、无机砷的氧化还原转化	72
五、水中有机物的氧化	72
本章基本要求	73
阅读材料	73
思考与练习	73
第六章 水环境中固-液界面的相互作用	76
6.1 水体中各相间的相互作用	76
6.2 天然水体中的胶体物质	76
一、矿物微粒和粘土矿物	77
二、金属水合氧化物	77
三、腐殖质	77
四、水体悬浮沉积物	78
五、其它	78
6.3 胶体颗粒的性质	78
一、胶体的表面电荷	78
二、双电层模型	79
三、胶体粒子的凝聚	80
6.4 颗粒物在水环境中的吸附过程	82
一、固体表面的吸附作用	82
二、吸附等温线和等温式	83
三、氧化物表面吸附的配合模式	85
6.5 沉积物——探索天然水体重金属污染的工具	87
一、沉积物的来源	87
二、沉积物中金属结合类型	87
三、沉积物是人类活动及自然变迁的反映	88
四、沉积物中重金属的释放	89
本章基本要求	90
阅读材料	90
思考与练习	90
第七章 有机毒物的环境行为和归趋模式	92
7.1 有毒有机污染物的环境行为	92
一、农药	93
二、多氯联苯(PCBs)	94
三、卤代脂肪烃	94
四、醚类	95
五、单环芳族化合物	96
六、苯酚类和甲酚类	96
七、酞酸酯类	96
八、多环芳烃类(PAHs)	96
九、亚硝胺和其它化合物	96

7.2 归趋模式简介	96
一、有机物消失速率	99
二、吸着的影响	99
三、稳态时的浓度	100
7.3 分配系数	101
一、有机物在沉积物(土壤)与水之间的分配系数 K_p 和标化的分配系数 K_{oc}	101
二、生物浓缩因子	102
7.4 挥发速率	103
一、亨利定律	104
二、挥发作用的双膜理论	105
三、C. T. Chiou 挥发速率模式	108
7.5 水解速率	110
7.6 光解速率	111
一、直接光解	112
二、敏化光解(间接光解)	115
三、氧化反应	115
7.7 生物降解速率	116
一、生长物质的代谢	116
二、共代谢	117
三、影响生物降解的因素	118
7.8 归趋模式应用举例	119
本章基本要求	123
阅读材料	123
思考与练习	124

第二篇 大气环境化学

第八章 天然大气和重要污染物	126
8.1 大气的组成和停留时间	126
一、大气的组成	126
二、大气组分的停留时间	127
8.2 大气的主要层次	127
一、对流层	128
二、平流层	129
三、中层	129
四、热层	129
8.3 大气中的离子及自由基	130
一、大气中的离子	130
二、大气中的自由基	130
8.4 大气中的重要污染物	132
一、含硫化合物	133
二、含氮化合物	134

三、含碳化合物	135
四、含卤素化合物	138
8.5 温室气体和温室效应	139
一、地球的热平衡	139
二、温室气体和温室效应	140
8.6 大气组分浓度表示法	143
一、混合比单位表示法(体积混合比或质量混合比)	143
二、单位体积内物质的质量数表示法	143
本章基本要求	144
阅读材料	144
思考与练习	144
第九章 气相大气化学	146
9.1 大气光化学反应基础	146
9.2 氮氧化物的气相反应	147
一、氮氧化物的基本反应	147
二、NO、NO ₂ 和 O ₃ 的基本光化学循环	148
三、氮氧化物气相反应动力学	149
9.3 二氧化硫的气相反应	150
一、SO ₂ 与氧原子的反应	150
二、SO ₂ 与其它自由基的反应	150
9.4 有机物的气相反应	151
一、碳氢化合物的一些重要反应	152
二、OH· 与烯烃类、炔类、醛类、卤代烃、芳烃类的反应	152
三、烯烃与臭氧、原子氧和氮氧化物的反应	153
四、天然有机物的转化	155
9.5 光化学烟雾	156
一、光化学烟雾的形成	156
二、光化学烟雾的形成机理	157
三、光化学烟雾的化学动力学机理	158
四、光化学烟雾及还原烟雾的区别	159
9.6 平流层化学	160
一、平流层的化学反应	160
二、南极“臭氧洞”现象及解释	162
本章基本要求	164
阅读材料	164
思考与练习	164
第十章 液相大气化学	166
10.1 二氧化硫的液相反应	166
一、SO ₂ 的液相平衡	166
二、SO ₂ 的液相反应动力学	168
10.2 氮氧化物的液相反应	171

一、 NO_x 的液相平衡	171
二、 NH_3 和 HNO_3 的液相平衡	172
三、 NO_x 的液相反应动力学	173
10.3 酸沉降化学	173
一、酸雨的形成	174
二、酸雨的化学组成	175
三、酸雨中的关键性离子组分	176
四、影响酸雨形成的因素	177
五、酸雨来源	179
六、酸雨危害	179
10.4 降水化学组分和 pH 的背景值	180
一、降水化学组分的背景值	180
二、降水 pH 的背景值	181
本章基本要求	181
阅读材料	181
思考与练习	181
第十一章 大气颗粒物(大气气溶胶)	183
11.1 大气颗粒物的分类	183
11.2 大气颗粒物的源和汇	184
一、大气颗粒物的来源	184
二、大气颗粒物的汇	184
11.3 大气颗粒物的粒度分布及表面性质	185
一、颗粒物的粒度分布	185
二、微粒的表面性质	187
11.4 大气中的无机颗粒物	188
一、无机颗粒物的来源	188
二、无机颗粒物的组成	189
三、颗粒物来源的推断原理	191
11.5 大气颗粒物中的有机化合物	193
一、大气有机颗粒物的来源及类型	193
二、多环芳烃	195
11.6 大气中的放射性核素	197
一、放射性衰变	197
二、大气中放射性物质的来源	198
三、放射性核素对健康的效应	200
11.7 颗粒物对人体健康的影响	200
一、颗粒物进入人体的途径	200
二、人体吸入量的估算	201
本章基本要求	202
阅读材料	202
思考与练习	202

第三篇 土壤环境化学

第十二章 土壤的物理化学性质	205
12.1 土壤的组成	205
一、土壤矿物质	206
二、土壤有机质	209
三、土壤中的水分	210
四、土壤中的空气	211
12.2 土壤的表面性质	211
一、土壤的胶体性质	211
二、土壤的阳离子交换	213
三、土壤中的阴离子吸附	214
12.3 土壤的酸碱度	214
一、土壤的酸度	214
二、土壤的碱度	216
三、土壤的缓冲作用	217
12.4 土壤溶液中的氧化还原作用	220
本章基本要求	221
阅读材料	221
思考与练习	221
第十三章 重金属在土壤环境中的迁移转化	222
13.1 土壤重金属污染	222
13.2 土壤-植物系统中重金属的归趋	222
一、影响重金属在土壤中归趋的主要因素	223
二、重金属在土壤-植物体系中的累积和迁移	225
13.3 土壤环境容量	228
一、土壤环境容量概念	228
二、土壤环境容量的确定	229
本章基本要求	230
阅读材料	231
思考与练习	231
第十四章 氮、磷肥料在土壤环境中的迁移	232
14.1 氮素在土壤中的迁移	232
一、土壤氮素的来源	232
二、土壤中氮的形态	232
三、氮素的流失	233
四、氮污染	234
14.2 磷素在土壤中的迁移	235
一、土壤磷素的来源	235
二、土壤中磷的形态	235

三、土壤的固磷作用	237
四、磷肥的污染	237
14.3 氮、磷肥对环境的影响	238
一、水体富营养化	238
二、地下水源的污染	241
14.4 化肥污染预测	241
一、氮肥污染预测	242
二、磷肥污染预测	242
本章基本要求	243
阅读材料	243
思考与练习	243
第十五章 农药在土壤环境中的迁移转化	244
15.1 农药在土壤中的环境行为	244
15.2 土壤对农药的作用	244
一、影响农药在土壤中行为的因素	244
二、土壤对农药的吸附作用	245
15.3 土壤有机质、粘土矿物及湿度在非离子性有机化合物和农药吸着中的 作用	247
一、分配理论的提出	247
二、分配作用和吸附作用的比较	248
三、土壤有机质对吸附的影响	248
四、粘土矿物对吸附的影响	250
15.4 农药在土壤中的迁移转化	253
一、农药在土壤中的挥发、扩散和迁移	253
二、农药在土壤中的降解	254
三、农药在土壤中的残留	260
本章基本要求	260
阅读材料	260
思考与练习	261

第四篇 化学物质的生物效应和生态效应

第十六章 天然水中金属形态及金属的生物有效性	263
16.1 金属形态研究的重要性	263
16.2 天然水中金属形态的划分	265
16.3 溶解态金属的形态分析技术	265
一、直接法	265
二、计算法	267
16.4 颗粒态金属的形态分析技术	270
一、形态的划分	270
二、形态分离技术——化学提取法	271

16.5 不同金属形态的生物有效性·····	272
一、溶解态金属存在形态的生物有效性·····	273
二、颗粒物结合态的生物有效性·····	277
16.6 形态分析技术应用及存在问题·····	277
一、形态分析技术的应用·····	277
二、形态分析中若干问题·····	280
本章基本要求·····	281
阅读材料·····	281
思考与练习·····	282
第十七章 微生物对水环境中化学物质的作用 ·····	283
17.1 微生物在水环境中的重要作用·····	283
17.2 水环境中微生物的类群·····	284
一、微生物的类群·····	284
二、细菌的分类·····	286
三、细菌的生长动力学·····	286
17.3 微生物媒催化的氧化还原反应·····	287
17.4 碳的微生物转化·····	289
一、含碳化合物的好氧分解·····	289
二、含碳化合物的厌氧分解·····	290
17.5 氮的微生物转化·····	291
一、固氮·····	291
二、硝化作用·····	292
三、硝酸盐还原·····	293
四、脱氮·····	293
五、 NO_3^- 及其它氧化剂对有机物的竞争氧化·····	294
17.6 硫的微生物转化·····	294
一、微生物对硫酸盐的还原作用·····	295
二、微生物对 H_2S 的氧化作用·····	295
三、有机硫化物的微生物降解·····	295
17.7 重金属及类金属的微生物转化·····	296
一、铁的转化·····	296
二、汞的转化·····	297
三、砷的转化·····	299
四、硒的转化·····	300
17.8 烃类的微生物降解·····	300
17.9 农药的微生物降解·····	302
本章基本要求·····	303
阅读材料·····	303
思考与练习·····	304
第十八章 化学物质的生物吸收和生物浓缩机理 ·····	305
18.1 生物浓缩、生物积累和生物放大作用·····	305

一、生物浓缩	305
二、生物积累	305
三、生物放大	306
18.2 生物膜的透过机理	306
一、被动输送	307
二、主动输送	309
18.3 生物组织中化合物的浓缩机理	309
18.4 生物浓缩的模型	311
一、单一组合	311
二、食物链组合	313
18.5 植物对非离子型有机化合物的吸收	314
一、根部吸收和输送过程	314
二、从植物地上部分摄取	317
三、化学品与植物体内物质的相互作用	318
18.6 微生态系统方法在环境化学中的应用	319
一、水生实验室微生态系统	320
二、陆生实验室微生态系统	322
本章基本要求	324
阅读材料	324
思考与练习	325
第十九章 化学物质与人体健康	326
19.1 外来化合物在生物体内的生物转运和代谢	326
一、外来化合物在生物体内的生物转运	326
二、外来化合物的代谢	327
19.2 化学物质的联合作用	329
一、协同作用	329
二、相加作用	329
三、独立作用	329
四、拮抗作用	329
19.3 化学致突变作用、化学致畸作用及化学致癌作用	330
一、化学致突变作用	330
二、化学致畸作用	330
三、化学致癌作用	331
19.4 有机物结构与致癌作用的关系	334
一、K 区理论和湾区理论	334
二、双区理论	336
三、双区理论的定量模型	339
四、多环芳烃的分配系数与双区理论	346
五、多环芳烃的溶解度与双区理论	346
19.5 元素与健康	347
一、元素的生物学分类	347
二、生物最适营养浓度定律	348

三、金属中毒与解毒	350
19.6 有毒物质的生物化学效应	351
一、砷的生物化学效应	351
二、铅的生物化学效应	351
三、汞的生物化学效应	352
四、氰化物的生物化学效应	352
五、 NO_2^- 离子的生物化学效应	352
六、一氧化碳的生物化学效应	353
七、二氧化硫的生物化学效应	354
19.7 环境生物地球化学与地方病	354
本章基本要求	357
阅读材料	357
思考与练习	357

第一章 绪 论

1.1 环境化学的形成

在历史发展的进程中，人类为了自身的生存和发展，不断地开发和利用自然资源，导致环境污染问题的发生。而且，当人类对自然资源不适当的开发和利用时，还将引起生态环境的破坏、水土流失、土壤退化、气候变异等等，从而导致大量生物资源急剧减少，反过来又破坏了人类赖以生存的环境，也就是人们常说的“大自然的报复”。

直到本世纪 30 年代，环境问题才比较明显地暴露出来。一些发达国家由于只注意经济发展而没有保护环境意识，使污染事件和危害人体健康的事件时有发生，最著名的是世界八大公害(见表 1-1)。其中五个公害是由于排放大量气体和粉尘引起的，另外三个公害是由于污染而最终引起食物中毒的事件。这些事件开始引起了世界的震惊，促使人们思考发生这些事

表 1-1 世界八大公害事件

名 称	发生地及时间	中 毒 情 况	原 因
马斯河谷 烟雾事件	1932 年 12 月比利时 马斯河谷	咳嗽、呼吸短促、流泪、喉痛、恶 心、呕吐和胸室闷，数千人发病， 60人死亡	SO ₂ 转化为 SO ₃ 进入肺部
多 诺 拉 烟雾事件	1948 年 10 月美国 多诺拉	咳嗽、喉痛、胸闷、呕吐和腹泻， 四天内约 6000 人患病，17 人死 亡	SO ₂ 同烟尘作用生成了硫酸 盐，吸入肺部
伦 敦 烟雾事件	1952 年 12 月 英国 伦敦	胸闷、咳嗽、喉痛和呕吐，5 天 内 4000 人死亡，历年共发生 12 起， 死亡近万人	粉尘中 Fe ₂ O ₃ 使 SO ₂ 转变成硫 酸，附着在烟尘，吸入肺部
洛 杉 矶 光化学烟雾	1943 年 5 月到 10 月 美国洛杉矶	刺激眼、喉、鼻，引起眼病、喉 炎。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 线辐射作用下产生的光化学烟 雾
水俣病事件	1953 年日本九州南 部熊本水俣镇	口齿不清、面部痴呆、全身麻 木，最后精神失常至死亡，患者 180 多人，死亡 50 多人	食用含有甲基汞的鱼
痛痛病事件	1931 年至 1973 年 3 月日本富山县	关节痛开始，最后骨骼软化萎 缩，自然骨折，患者 280 人，死亡 34 人	食用含镉废水灌溉的“镉米” 和含镉的水
四日哮喘 事 件	1955 年以来，日本 四日市	支气管炎、支气管哮喘、肺气 肿，患者 500 多人，死亡 36 人	有毒重金属微粒及 SO ₂ 吸入肺 部所致
米糠油事件	1968 年日本九州、 爱知县等 23 个府县	眼皮肿、出汗，全身红疙瘩，恶 心、呕吐，肺功能下降，甚至死亡， 患者 5000 多人，死亡 16 人	食用含有多氯联苯的米糠油 所致

(转自黄春柱，解怀宁编译，1989，环境化学原理)