



普通高等教育「十一五」国家级规划教材

环境 化学

◎ 戴树桂 主编

第二版



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

环境化学

第二版

戴树桂 主编

高等教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

环境化学 / 戴树桂主编. — 2版. 北京: 高等教育出版社, 2006.10

ISBN 7-04-019956-4

I. 环... II. 戴... 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(2006)第 106442 号

策划编辑 陈文 责任编辑 董淑静 封面设计 张申申 责任绘图 尹莉
版式设计 范晓红 责任校对 殷然 责任印制 陈伟光

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010 - 58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800 - 810 - 0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010 - 58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landrace.com
印 刷	北京宝旺印务有限公司		http://www.landrace.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787 × 960 1/16	版 次	1997 年 3 月第 1 版
印 张	33.5		2006 年 10 月第 2 版
字 数	600 000	印 次	2006 年 10 月第 1 次印刷
		定 价	38.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 19956-00

前 言

面向 21 世纪课程教材《环境化学》自出版以来,陆续为全国各类高等院校环境科学、环境工程,以及化学、农学多类专业广泛采用。教材加印若干次,受到社会好评,并于 2000 年荣获教育部科技进步二等奖。这些都是对编者的鞭策和鼓励。

为适应科教事业发展的需要,2004 年 8 月参编作者于南开大学环境科学与工程学院举行了该教材修订的研讨会。通过认真讨论明确了修订的指导思想为:“既要保持原书结构体系的特色,又要面对国内外环境化学内容的发展推陈出新;既要吸取国外先进经验又要结合我国国情”。

为此,对第一版教材的修改意见如下:

1. 去掉第一版的第七章有害废物及放射性固体废物。新增两章,即第七章受污染环境的修复和第八章绿色化学的基本原理与应用。

2. 对第一版其他六章,采取补空、补新、补量化的原则加以修改补充,并适当体现推陈出新。

第一章 绪论:适当反映人为活动与各自然圈层间的交叉联系,简介主要营养元素循环。

第二章 大气环境化学:对原内容编排做些调整;关于臭氧层的形成与耗损,要结合讨论自由基反应;对大气颗粒物单独另写一节,要适当介绍气溶胶的界面效应,PM_{2.5}可吸入尘与能见度和全球气候变暖的影响等。

第三章 水环境化学:在原第一节中适当介绍“水体富营养化”问题;在原第四节水质模型增添多介质环境数学模型简介。

第四章 土壤环境化学:增加讨论土壤孔隙水、土壤溶液、土壤中腐殖质和有机质内容。

第五章 生物体内污染物质的运动过程及毒性:增添第六节有机物的定量结构与活性关系简介。

第六章 典型污染物在环境各圈层中的转归与效应:增加第一节污染物在多介质多界面环境中的传输;原第一节重金属元素改为第二节;原第二节有机污染物改为第三节,其中要添加典型持久性有机污染物的介绍。

由于某些具体原因,参编作者也有部分调整。再版本由戴树桂编写第一、八章,董德明编写第二章,王晓蓉编写第三章,邓南圣编写第四、六章,陈甫华编写

第五章,孙红文编写第七章,最后由主编戴树桂审校定稿。

本书修订出版过程中,得到高等教育出版社陈文副编审的指导和支持,编者表示衷心感谢。此外,南开大学环境科学与工程学院徐建博士在中英文关键词对照索引的编排工作上给予了很大帮助,在此一并致谢。

限于学识和文字水平,错误在所难免,请读者批评指正。

编者

2006年5月

第一版前言

1990年国家教育委员会正式确认高等学校理科本科的环境科学类专业为一级学科,同时组建了环境科学教学指导委员会,在高等教育司的领导下,协助研讨并推进有关专业设置、培养方向、课程安排和教材建设等方面的工作。

作为环境学专业的重要专业基础课程,环境化学被选为首批编写教材的课程之一。为了满足教学要求,及时反映当前学科的发展水平,编写出高质量的教材,环境科学教学指导委员会和高等教育出版社共同商定由南开大学、南京大学、武汉大学和吉林大学多年从事环境化学教学及科研的教授通力合作编写该书。

在确定本书的编写大纲前,我们对环境化学在环境科学中的地位及其在培养环境科学专门人才中的作用取得了如下共识。

18世纪工业革命以后,环境问题开始成为一个严重的社会问题。因为工业革命大大推动了社会生产力,随着技术和经济的发展,人类利用和改造自然的能力大大加强,同时也使资源消耗和废弃物排放显著增多,自然环境的组成和结构受到了大规模的影响,从而破坏了人与自然的和谐关系。可见,环境问题的实质就是由于人类社会发展的行为不自觉地导致环境向不利于人类生存的方向转化了。

当前全球性的环境问题突出的表现在酸雨、温室效应与臭氧层被破坏;不断加剧的水污染造成世界范围的淡水危机;以及自然资源破坏和生态环境继续恶化,威胁着人类的生产和生活条件。

我国各族人民正在党中央和政府领导下,为把我国建设成为富强、民主、文明的社会主义现代化国家而努力奋斗。我国政府十分重视生态环境保护,在这方面已取得了巨大成绩。但是在国民经济建设高速发展的同时,对资源的不合理开发利用和生态环境破坏的现象及恶化趋势,绝不能掉以轻心。根据中央确定的可持续发展战略指导方针,必须使国民经济建设与环境保护同步协调发展。在科教兴国战略思想的指引下,加速培养有创业、敬业精神的、高质量的环境科学技术与管理专门人才是一项紧迫的任务。

环境科学是以实现人与自然和谐为目的,研究以及调整人与自然关系的科学。它既来源于而又区别于传统学科的包含自然科学、社会科学和工程技术科学的一门新型的综合性科学。21世纪环境科学的研究内容应围绕人与自然相

和谐这个主题。对 21 世纪环境专门人才则应着重培养两方面的基本能力:① 对人类社会行为及其与自然相互关系进行综合分析的能力,即在掌握自然科学、社会科学和工程技术科学必要基础知识的基础上,把握环境问题的实质和根源,以期能正确分析和处理发展与环境的矛盾;② 具备处理实际环境问题的能力,掌握解决问题的方法和技术。

我们在确定本书内容大纲时有如下指导思想:

1. 由于大多数的生态环境问题都与化学物质直接有关,环境化学学科在掌握污染来源,消除和控制污染,为确定环境保护决策提供科学依据等方面都起着重要作用。所以,对环境科学专门人才的培养,无论侧重于研究自然环境问题的环境学或环境工程专业,还是具有自然科学与社会科学交叉性质的环境规划与管理专业,都需要有较扎实的环境化学基础知识。

2. 环境化学是研究有害化学物质在环境介质中的存在、特性、行为和效应及其控制的化学原理和方法的科学。从 21 世纪环境科学应围绕人与自然和谐的主题,和对专门人才应着重培养两方面基本能力的要求出发,本书着力拓宽和加深环境化学的基础内容。在依次讲解大气、水、岩石(土壤)各圈层的环境化学之后,对典型污染物在各圈层间的迁移转化规律做了专门论述,这将有利于学生针对区域性生态环境问题发展的趋势掌握防治控制的知识与技能。

3. 正确处理了传统学科与新兴交叉学科知识的关系。在内容阐述中既充分运用传统化学学科的原理和方法解释环境化学问题,又注重了包括生物学、生物化学、毒理学、气象学、土壤学等多种交叉学科知识的融合,以期在基本原理和知识的基础上阐明作为多组分、多介质复杂体系的实际环境过程,体现了环境化学已趋于成熟的特色。在讨论时某些方面还力图做到量化阐述,有关污染物质在生物体内的运动过程与毒性问题的讨论就是一例。

4. 面向 21 世纪的环境问题。书中探讨的基本原理和方法以及反映的科研新成就不仅适用于下世纪,而且所涉及的不少环境问题也仍然是 21 世纪必须关注的重大问题,如臭氧层耗损、水污染、重金属和有机污染物问题等。从我国改变能源结构发展核电的趋势看,增加放射性固体废弃物的内容是非常合乎时宜的。

5. 为照顾环境学专业所属各培养方向的不同需要,在编排上做了特殊技术处理。即对各方向都要求掌握的内容以大字排印,而对个别方向(如环境化学方向)或社会上有兴趣的广大读者,则又以小字编印了补充材料。

由于编者在编写过程中注意吸取国内外许多有关专著和教材的优点并参考了大量文献资料,因而使本书编写的系统、内容和形式都具有自己的风格和特色。

本书由戴树桂编写第一章,岳贵春编写第二章,王晓蓉编写第三章,田世忠编写第四、六章,陈甫华编写第五、七章,最后由主编戴树桂审校定稿。

初稿写成后于1995年4月在天津举行了审稿会。由北京大学陈静生教授、李金龙教授,北京工业大学李惕川教授和高等教育出版社陈文编辑组成的专家组对初稿认真审阅后,予以通过并提出修改意见,完成了本书出版的重要一步。

在本书编写出版过程中得到国家教委第一、二届环境科学教学指导委员会以及各有关高校领导的关心与支持,特别是高等教育出版社张月娥编审给予了热情的鼓励和帮助,我们表示衷心感谢。此外,南开大学环境科学系陈勇生博士在中英文关键词对照索引的编排工作上给予了很大帮助,在此一并致谢。

限于学识和文字水平,错误在所难免,请读者批评指正。

编者

1995年9月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 环境化学	1
一、环境问题	1
二、环境化学	3
第二节 环境污染物	11
一、环境污染物的类别	12
二、环境效应及其影响因素	13
三、环境污染物在环境各圈的迁移转化过程简介	14
思考题与习题	16
主要参考文献	16
第二章 大气环境化学	17
第一节 大气的组成及其主要污染物	17
一、大气的主要成分	17
二、大气层的结构	17
三、大气中的主要污染物	21
第二节 大气中污染物的迁移	47
一、辐射逆温层	47
二、大气稳定度	48
三、大气污染数学模式	49
四、影响大气污染物迁移的因素	54
第三节 大气中污染物的转化	57
一、自由基化学基础	57
二、光化学反应基础	66
三、大气中重要自由基的来源	74
四、氮氧化物的转化	76
五、碳氢化合物的转化	83
六、光化学烟雾	91
七、硫氧化物的转化及硫酸烟雾型污染	99
八、酸性降水	108

九、温室气体和温室效应	119
十、臭氧层的形成与耗损	122
第四节 大气颗粒物	129
一、大气颗粒物的来源与消除	129
二、大气颗粒物的粒径分布	131
三、大气颗粒物的化学组成	133
四、大气颗粒物来源的识别	138
五、大气颗粒物中的 $PM_{2.5}$	141
思考题与习题	145
主要参考文献	146
第三章 水环境化学	147
第一节 天然水的基本特征及污染物的存在形态	147
一、天然水的基本特征	147
二、水中污染物的分布和存在形态	159
三、水中营养元素及水体富营养化	169
第二节 水中无机污染物的迁移转化	170
一、颗粒物与水之间的迁移	170
二、水中颗粒物的聚集	179
三、溶解和沉淀	184
四、氧化还原	193
五、配合作用	204
第三节 水中有机污染物的迁移转化	214
一、分配作用	214
二、挥发作用	218
三、水解作用	223
四、光解作用	226
五、生物降解作用	232
第四节 水质模型	235
一、氧平衡模型	235
二、湖泊富营养化预测模型	241
三、有毒有机污染物的归趋模型	243
四、多介质环境数学模型	251
思考题与习题	260
主要参考文献	263

第四章 土壤环境化学	265
第一节 土壤的组成与性质	266
一、土壤组成	266
二、土壤的粒级分组与质地分组	270
三、土壤吸附性	272
四、土壤酸碱性	274
五、土壤的氧化还原性	279
第二节 重金属在土壤-植物体系中的迁移及其机制	279
一、影响重金属在土壤-植物体系中迁移的因素	280
二、重金属在土壤-植物体系中的迁移转化规律	282
三、主要重金属在土壤中的积累和迁移转化	283
四、植物对重金属污染产生耐性的几种机制	285
第三节 土壤中农药的迁移转化	287
一、土壤中农药的迁移	287
二、非离子型农药与土壤有机质的作用	291
三、典型农药在土壤中的迁移转化	295
思考题与习题	302
主要参考文献	302
第五章 生物体内污染物质的运动过程及毒性	303
第一节 物质通过生物膜的方式	303
一、生物膜的结构	303
二、物质通过生物膜的方式	304
第二节 污染物质在机体内的转运	305
一、吸收	305
二、分布	306
三、排泄	307
四、蓄积	308
第三节 污染物质的生物富集、放大和积累	308
一、生物富集	308
二、生物放大	311
三、生物积累	311
第四节 污染物质的生物转化	312
一、生物转化中的酶	313
二、若干重要辅酶的功能	314

三、生物氧化中的氢传递过程	317
四、耗氧有机污染物质的微生物降解	320
五、有毒有机污染物质生物转化类型	326
六、有毒有机污染物质的微生物降解	335
七、氮及硫的微生物转化	341
八、重金属元素的微生物转化	344
九、污染物质的生物转化速率	349
第五节 污染物质的毒性	358
一、毒物	358
二、毒物的毒性	359
三、毒物的联合作用	360
四、毒作用的过程	362
五、毒作用的生物化学机制	362
第六节 有机物的定量结构与活性关系	369
一、概述	369
二、Hansch 分析法	369
三、分子连接性指数法	372
四、量化参数在 QSAR 研究中的应用	377
五、比较分子力场分析方法	380
思考题与习题	385
主要参考文献	387
第六章 典型污染物在环境各圈层中的转归与效应	389
第一节 污染物在多介质多界面环境中的传输	389
第二节 重金属元素	390
一、汞	390
二、镉	396
三、铬	399
四、砷	400
第三节 有机污染物	403
一、持久性有机污染物	403
二、有机卤代物	407
三、多环芳烃	417
四、表面活性剂	428
思考题与习题	433

主要参考文献	433
第七章 受污染环境的修复	435
第一节 微生物修复技术	435
一、概述	435
二、影响微生物修复效率的因素	437
三、强化生物修复的主要类型	439
四、生物修复的优缺点	442
第二节 植物修复技术	443
一、概述	443
二、植物修复重金属污染的过程和机理	444
三、植物修复有机污染物的过程和机理	448
第三节 化学氧化技术	452
一、概述	452
二、高锰酸钾氧化法	453
三、臭氧氧化技术	455
四、过氧化氢及 Fenton 氧化技术	457
第四节 电动力学修复	461
一、基本原理	461
二、影响因素	463
三、联用技术	465
第五节 地下水修复的可渗透反应格栅技术	466
一、概述	466
二、Fe-PRB	467
第六节 表面活性剂及共溶剂淋洗技术	470
一、基本原理	470
二、影响因素	471
思考题与习题	473
主要参考文献	473
第八章 绿色化学的基本原理与应用	475
第一节 绿色化学的诞生和发展简史	475
一、绿色化学的诞生	475
二、绿色化学的定义和发展简史	477
第二节 绿色化学的基本原理	479
一、绿色化学的 12 条原理及特点	479

二、绿色化学与绿色工程	489
三、工业生态学原理	490
第三节 绿色化学的应用	492
一、绿色化学的主要研究方向	492
二、绿色化学的应用	492
思考题与习题	501
主要参考文献	501
中英文关键词对照索引	503

第一章 绪 论

内容提要及重点要求

本章简要介绍环境化学在环境科学中和解决环境问题方面的地位和作用,它的研究内容、特点和发展动向,主要环境污染物的类别和它们对环境各圈层中的迁移转化过程。要求掌握对现代环境问题认识的发展以及对环境化学提出的任务;明确学习环境化学课程的目的。

地球为人类提供了阳光、空气、水、土地和大量的生物及矿物资源。人类的生活和生产活动不断地影响和改变着这些环境条件,甚至造成对环境的污染。18世纪末到20世纪初产业革命产生的巨大的生产力,使人类在改造自然和发展经济方面建树了辉煌的业绩。而与此同时,由于工业化过程中的处置失当,特别是对自然资源的不合理开发利用,造成了全球性的环境污染和生态破坏。因此在考虑自然圈层的同时,应该把人类活动圈作为一个单独的圈层,并适当了解其与地球环境系统各圈层之间存在的错综复杂的相互关系。同时有必要对以几种典型元素为代表的物质循环有概括的了解。如今世界范围内普遍存在着程度不同的空气、水和土地污染的环境退化现象,各国人民都在关注的臭氧层破坏、气候变化、水资源的短缺和污染、有毒化学品和固体废弃物的危害,以及生物多样性的损伤等,已对人类的生存和发展构成了现实威胁。

从七八百年前因人类开始用煤产生的空气污染,发展到当代面向21世纪多方面的全球环境问题,无不与化学科学密切相关。所以,如何阐明这些危害人类的环境问题的化学机制,并为解决这些问题提供科学依据,已成为化学科学工作者的一个重要职责。环境科学与化学交叉形成的环境化学学科在这方面负有特殊的使命。

第一节 环境化学

一、环境问题

由于人为因素使环境的构成或状态发生变化,环境素质下降,从而扰乱和破坏了生态系统和人们的正常生活和生产条件,就叫做环境污染。具体说,环境污

染是指有害物质对大气、水质、土壤和动植物的污染,并达到致害的程度,生物界的生态系统遭到不适当的干扰和破坏,不可再生资源被滥采滥用,以及因固体废弃物、噪声、振动、恶臭、放射线等造成对环境的损害。造成环境污染的因素有物理的、化学的和生物的三方面,其中因化学物质引起的约占80%~90%。

然而,环境问题并非只限于环境污染,人们对现代环境问题的认识有个发展过程。

在20世纪60年代,人们把环境问题只当成一个污染问题,认为环境污染主要指的是城市和工农业发展带来的对大气、水质、土壤等的污染,以及固体废弃物和噪声的污染。而对土地沙化、热带森林破坏和野生动物某些品种的濒危灭绝等并未从战略上予以重视。我国当时以污染控制为中心进行环境管理,曾对改善城市和人民生活的环境质量起了重要作用。而明显的不足表现在没有把环境问题与自然生态联系起来,低估了环境污染的危害性和复杂性;没有把环境污染与社会因素相联系,未能追根溯源。

1972年,联合国在瑞典首都斯德哥尔摩召开了人类环境会议。会议发表的《人类环境宣言》中明确指出环境问题不仅表现在水、气、土壤等的污染已达到危险程度,而且表现在生态的破坏和资源的枯竭;同时宣告一部分环境问题是由于贫穷造成的,并明确提出发展中国家要在发展中解决环境问题。这是作为联合国组织第一次把环境问题与社会因素联系起来。会后正式组建了联合国环境规划署(UNEP)。此次会议可说是人类认识环境问题的一个里程碑。然而,它并未从战略高度指明防治环境问题的根本途径,没明确解决环境问题的责任,没强调需要全球的共同行动。

20世纪80年代,对环境认识有了新的突破性发展,提出持续发展战略。由挪威前首相布伦兰夫人任主席的联合国环境与发展委员会,组织来自21个国家的著名专家学者到各国实地考察后,于1987年4月发表了题为“我们共同的未来”的长篇报告。在“全球的挑战”的标题下,指出地球正发生着急剧改变,从而威胁着许多物种,包括人类生命的环境恶化趋势。每年有600万公顷具有生产力的旱地变成沙漠,有1100多万公顷的森林遭到破坏……在列举的令人震惊的事件中有:在非洲,干旱将3500万人置于危难之中;在印度,博帕尔农药厂化学品泄漏造成2000人死亡;在墨西哥城,液化气罐爆炸使千人遇难;在前苏联,切尔诺贝利核反应堆爆炸使核尘埃遍布欧洲;在瑞士,农用化学品、溶剂和汞污染了莱茵河,使数百万尾鱼被毒死;由于饮用水被污染和营养不良,全球每年约有 6×10^7 人死于腹泻……报告告诫人们,决定地球人类前途和命运的是“环境”。它以持续发展为基本纲领,从保护环境和资源、满足当代和后代的需要出发,强调世界各国政府和人民要对经济发展和环境保护两大任务负起历史责

任,并把两者结合起来。这一时期逐步形成的持续发展战略,指明了解决环境问题的根本途径。

进入 20 世纪 90 年代,巩固和发展了这种指导思想,形成当代主导的环境意识。1992 年 6 月在巴西里约召开了联合国环境与发展大会,有 183 个国家代表团和 70 个国际组织的代表出席,并有 102 位国家元首或政府首脑到场,大会高举持续发展的旗帜,通过了《里约环境与发展宣言》、《21 世纪议程》等重要文件。它促使环境保护和经济、社会协调发展,以实现人类的持续发展作为全球的行动纲领。这是本世纪人类社会的又一重大转折点,树立了人类环境与发展关系史上新的里程碑。

二、环境化学

从 20 世纪 50 年代开始,经 60 年代的酝酿和准备,到 70 年代初期,有较多不同学科的科学工作者投入防治环境污染的研究领域,经过较长时间的孕育和发展过程,在原有各相关学科的基础上产生了一门以研究环境质量及其控制和改善为目的的综合性新学科——环境科学。

环境科学主要是运用自然科学和社会科学有关学科的理论、技术和方法来研究环境问题。在宏观上研究人类同环境之间的相互作用、相互促进、相互制约的对立统一关系,揭示社会经济发展和环境保护协调发展的基本规律;在微观上研究环境中的物质,尤其是人类活动排放的不同种类和形态的污染物在生态系统或有机体内迁移、转化和蓄积的过程及其运动规律,探索它们对生命的影响及其作用机理,并综合运用多种工程技术措施,利用系统分析和系统工程的方法寻找解决环境问题的最佳方案。

由于相关学科的相互渗透和交叉,现阶段在环境科学领域内已形成许多分支学科。属于自然科学方面的主要有环境地学、环境生物学、环境化学、环境物理学、环境工程学、环境医学等;属于社会科学方面的主要有环境管理学、环境经济学、环境法学等;还有自然科学与社会科学交叉结合的如环境评价学、环境规划学等。

在近现代工农业发展和科技进步过程中,“化学”为人类提供了品种繁多、琳琅满目的生产和生活用品,化学科学和化学工业为现代社会做出了重要贡献。然而与此同时,大量的有害化学物质进入地球的各个圈层后,大大降低了环境质量,直接或间接地损害人类的健康,影响生物的繁衍和生态的平衡。

在解决复杂而综合的环境问题中,往往需要多学科协作对它进行系统深入研究。由于大量环境问题与化学物质直接相关,因此,环境化学在掌握污染源、消除和控制污染、确定环境保护决策,以及提供科学依据诸方面都起着重要