

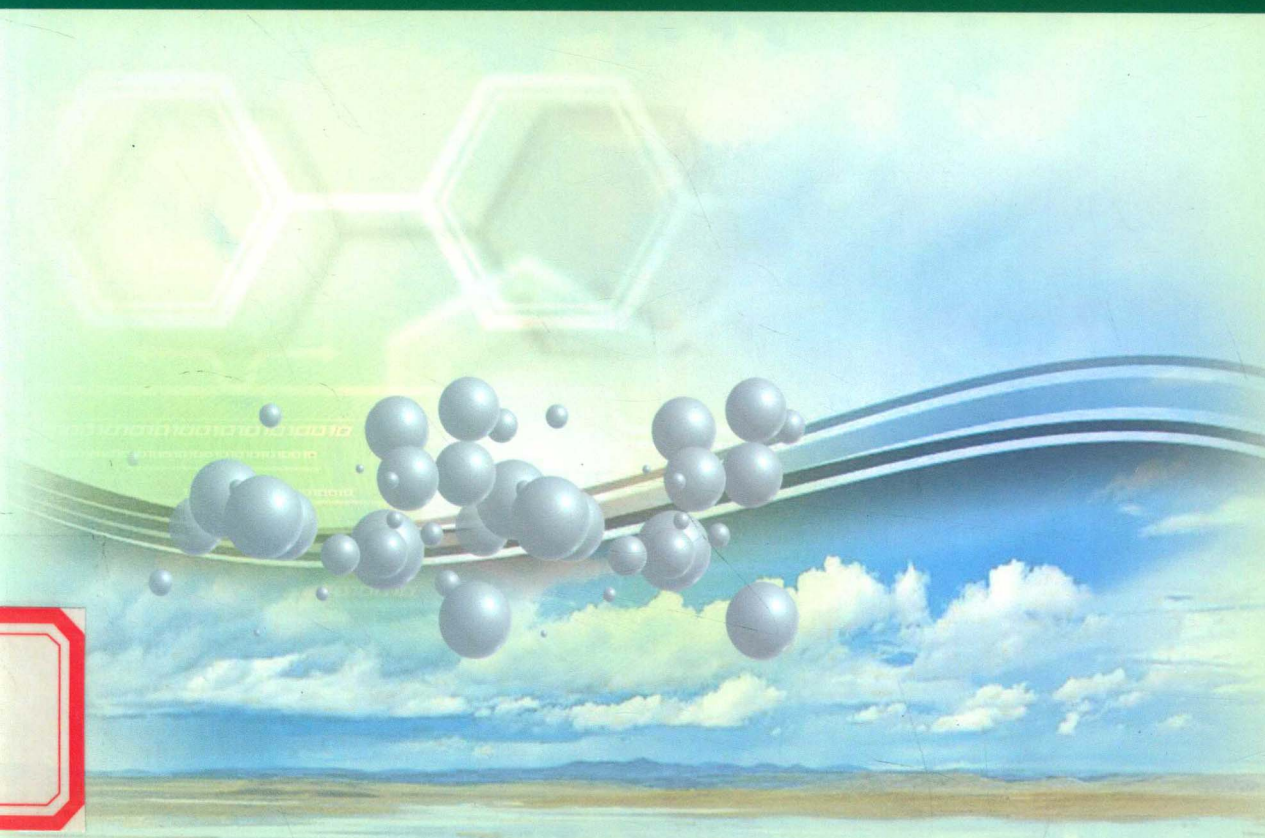
高等教育“十三五”规划教材



环境化学

主编 丛鑫 王静 邓月华

Huanjing Huaxue



中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

高等教育“十三五”规划教材

内容简介

环境化学

主 编 丛 鑫 王 静 邓月华

中国矿业大学出版社

内 容 简 介

本书为煤炭高等教育“十三五”规划教材。全书共分七章,包括污染物质在大气、水、土壤和生物体等介质中迁移转化所涉及的环境问题,以及典型污染物质在各圈层间的迁移转化规律,同时增加了绿色化学的一些相关基础知识。本书将化学知识与目前全球关注的一些环境问题紧密结合,在阐明基本原理的同时注意反映国内外的研究进展和成果。为便于掌握各章节知识点,每章后配备了一定数量的思考题与习题。本书可以作为高等院校环境专业学生的教材或参考书,也可供从事环境保护和环境学科研究工作的专业人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

环境化学/丛鑫,王静,邓月华主编. —徐州:中国矿业大学出版社,2018.1

ISBN 978-7-5646-3736-1

I. ①环… II. ①丛… ②王… ③邓… III. ①环境化学—教材 IV. ①X13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 263678 号

书 名 环境化学

主 编 丛 鑫 王 静 邓月华

责任编辑 周 红

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516)83885307 83884995

出版服务 (0516)83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 徐州中矿大印发科技有限公司

开 本 787×1092 1/16 印张 15.75 字数 393 千字

版次印次 2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

定 价 28.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

环境化学是高等学校环境专业的一门重要的专业基础课,是环境科学的核心组成部分。环境化学是研究有害化学物质在环境介质中的存在、化学特性、行为和效应及其控制的化学原理和方法的科学。环境化学课程具有理论基础强、学科内多层面内容交融、前沿新技术发展迅速等特征。

本教材的编写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、环境生物化学及典型污染物在环境各圈层间的迁移转化规律。以污染物在各环境介质的迁移转化过程为主线,深入探讨了其迁移转化过程的机制和规律。通过学习相关知识可以了解环境化学的研究内容、特点和发展动向,了解环境污染物的类别和它们在环境各圈层中的迁移转化规律,掌握对温室效应、臭氧层破坏和光化学烟雾等全球关注的现代环境问题认识的发展及研究动向。

本书共分七章,第一章、第二章和第七章由华北科技学院王静编写,第三章和第五章由辽宁工程技术大学丛鑫编写,第四章和第六章由西安科技大学邓月华编写,丛鑫负责全书的统稿。

本书在编写过程中借鉴了一些优秀的环境化学教材成果,这些教材已在书后参考文献中列出。此外,辽宁工程技术大学张海勤在第三章和第五章的编写过程中给予了很大的帮助,在此一并表示感谢!

由于编者学术水平所限和时间仓促,本书可能存在一些不足之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2017年9月

第一章 绪论	1
第一节 环境问题	1
第二节 环境污染和化学污染物	5
第三节 环境化学的定义、内容和研究方法	6
第四节 环境化学的分支学科及研究进展	7
思考题与习题	12
第二章 大气环境化学	13
第一节 大气环境概述	13
第二节 大气污染物的迁移	33
第三节 大气污染物的转化	39
第四节 大气圈的主要环境问题	47
思考题与习题	63
第三章 水环境化学	65
第一节 天然水概况	65
第二节 水体污染物的迁移行为	74
第三节 水体污染物的转化行为	81
第四节 水质模型	100
思考题与习题	103
第四章 土壤环境化学	105
第一节 土壤的组成	105
第二节 土壤的主要性质	120
第三节 土壤中主要污染物的迁移转化	127
第四节 土壤污染防治措施	139
思考题与习题	141
第五章 环境生物化学	142
第一节 污染物质的生物转移	142

第二节 污染物质生物转化类型与速率.....	149
第三节 典型污染物质生物转化.....	161
第四节 污染物质的毒性.....	169
思考题与习题.....	174
第六章 典型污染物在环境各圈层中的迁移转化.....	175
第一节 放射性核素.....	175
第二节 重金属元素.....	178
第三节 有机污染物.....	189
思考题与习题.....	206
第七章 绿色化学.....	207
第一节 概述.....	207
第二节 绿色化学的应用.....	217
思考题与习题.....	241
参考文献.....	242

第一章 绪 论

社会、经济与环境的可持续发展是当今世界各国面临的重大问题。随着社会的发展,生产力水平不断提高,物质财富空前繁荣,人类进入了一个高度发达的文明社会。但是,工业的迅猛发展和经济的繁荣是以牺牲环境为代价而获得的,尤其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。全球变暖,臭氧层破坏,物种灭绝,生物多样性减少,有毒有害化学物品污染加剧,土地沙化,飓风肆虐,使人类的生存环境受到严重的威胁。

第一节 环境问题

人类活动作用于人们周围的环境,引起环境质量变化。这种变化对人类的生产、生活和健康又造成一定的影响。

一、环境

1. 环境的概念

环境一词的含义和内容极其丰富。在不同的学科中,环境一词的定义也不相同,其差异源于主体的界定。

从哲学角度,环境是一个相对于主体的客体,它与其主体之间相互依存,它的内容随着主体的不同而不同。

环境科学对“环境”的定义是“以人类社会为主体的外部世界的总体”。这里所说的外部世界主要指人类已经认识到的,直接或间接影响人类生存和社会发展的周围世界,主要是指地球表面与人类发生相互作用的自然要素及其总体。它是人类生存发展的基础,也是人类开发利用的对象。

《中华人民共和国环境保护法》(以下简称《环境保护法》)明确指出:“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、野生动物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜、城市和乡村等。”它是把环境中应保护的要素或对象定义为环境。

它包含两层含义:第一,《环境保护法》所说的环境,是指以人为中心的人类生存环境,关系到人类的毁灭与生存。但是,它又不是泛指人类周围的一切自然的和社会的客观事物整体。例如银河系,目前就不属于环境这个概念中。所以,《环境保护法》所指的环境,是人类生存的环境,是作用于人类并影响人类生存和发展的外界事物。第二,环境概念是随着人类社会的发展而发展的。如现阶段没有把月球视为人类的生存环境,但是随着宇宙航行和空间科学的发展,月球将有可能成为人类生存环境的组成部分。

2. 环境的功能特性

环境具有如下功能特性,对于功能特性的认识是认知和理解环境科学的基础。

(1) 环境的整体性

环境是一个系统,自然环境的各要素间存在着紧密的相互联系、相互制约的关系。局部地区的污染可带来全球的危害。例如,河流上游的污染就威胁着下游居民的安全,瑞典酸雨中有邻国大气污染的贡献,南极的企鹅体内有 DDT 的积累,而大气中臭氧空洞的造成则是世界各国共同作用的结果。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国界的。

(2) 环境资源的有限性

环境是资源,但这种资源不是无限的。环境中的自然资源可分为非再生资源 and 再生资源两大类。前者指一些矿产资源,如铁、煤炭等。这类资源是不可再生的,随着人类的开采其储量不断减少。后者则包括生物、水、大气等资源。如森林生态系统的树木被砍伐后还可以再生,水域生态系统中只要捕获量适度 and 生存环境不被破坏,人类所需的各种水产品就会源源不断。

但是,由于受各种因素(如生存条件、繁衍速度、人类获取的强度等)所制约,在具体时空范围内,对人类来说各类资源都不可能是无限的。例如,水是可以循环的,也属可再生资源,但因其大部分的循环更替周期太长(见表 1-1),加之区域分布不均匀 and 季节降水差异性大,淡水资源已出现危机。而洁净的新鲜空气也并非是不取之不尽的。据美国公共卫生局的统计,为空气污染所付出的总开支大约每年每人 60 美元,这意味着在许多大气污染比较重的地区,为了健康,有的人不得不花钱购买正常生活所必需的洁净空气。

表 1-1 地球上各种水体的循环更替周期

水体类型	循环更替期/a	水体类型	循环更替期/a
海洋	2 500	沼泽	5
深层地下水	1 400	土壤水	1
极地冰川	9 700	河川水	16 d
永久积雪高川冰山	1 600	大气水	8 d
永冻带底水	10 000	生物水	几小时
湖泊	17		

(3) 不可逆性

环境系统的运转过程包括能量流动 and 物质循环这两个过程。虽然后者可逆但前者不可逆,因此整个过程为不可逆的。所以环境一旦遭到破坏,就物质循环规律来说,可能实现局

部的恢复,但不能彻底回到原来的状态。比如由于过度捕捞,我国沿海的黄鱼曾一度绝迹,经过很多年以后才重新恢复过来。

(4) 隐性性(隐蔽性)

除了事故性的污染与破坏(如骤发性自然灾害、人为污染等)可直观其后果外,日常的环境污染与破坏对人们的直观影响,需要一段时间才能显现。如日本汞污染引起的水俣病,经过 20 年时间才显现出来;虽然已停止使用 DDT,但其已进入水圈、生物圈,如人体中的 DDT 需要经过几十年才能从身体中彻底排除。

(5) 持续反应性

事实证明,环境污染不但影响到当代人的身心健康,而且还会对后代子孙造成遗传隐疾。1986 年 4 月 26 日,位于现乌克兰境内的切尔诺贝利核电站发生核泄漏事故,酿成了世界和平利用核能史上的最惨重的灾难。不但如此,在受污染的地区,许多事故发生之后出生的孩子都患有不同种类的疾病。同时据专家说,虽然发生泄漏事故的反应堆核原料已经处于封存状态,但它的放射危险性将持续 10 万年。又如 1953~1956 年,日本熊本县水俣镇一家氮肥公司排放的含汞废水,不但在海水、底泥和鱼类中富集,而且又经过食物链使人中毒。1991 年,日本环境厅公布的中毒病人有 2 248 人,其中 1 004 人死亡。

(6) 灾害放大性

某一部位自然环境受到污染和破坏后,其影响是可以极具放大的。例如,一片森林被砍伐后,不但影响该地区的气候环境,而且在未来的岁月里会加剧水土流失。再比如,2005 年 11 月的松花江吉林段的苯类物质污染,在事发后污染带以每小时 3 千米的速度向下游十几个县市转移。2006 年水质监测结果表明,松花江干支流主要污染指标高锰酸盐指数和氨氮呈加重趋势;支流水质污染比 2005 年明显加重,总体上为重度污染。

正确理解和认识环境的功能特性才能合理正确地利用和保护环境。依据现有环境特性,进行全盘性、整合性的规划与实践,促使经济高速发展,社会高效创造,并与环境保护有效整合,使整个世界能够可持续发展。

二、环境问题

人类在改造自然环境和创建社会环境的过程中,自然环境仍以其固有的自然规律变化着。社会环境一方面受自然环境的制约,另一方面也以其固有的规律运动着。人类与环境不断地相互影响和作用,于是产生了环境问题。

1. 环境问题的定义

环境问题一般指由于自然界或人类活动作用于人们周围的环境引起环境质量下降或生态失调,以及这种变化反过来对人类的生产和生活产生不利影响的现象。

环境问题可分为两大类:一类是由于自然因素的破坏和污染所引起的。如:火山活动、地震、风暴、海啸等产生的自然灾害,因环境中元素自然分布不均引起的地方病,以及自然界中放射物质产生的放射病等。另一类是人为因素造成的环境污染,自然资源与生态环境的破坏。在人类生产、生活活动中产生的各种污染物(或污染因素)进入环境,当其超过了环境容量的容许极限,就会使环境受到污染和破坏;人类在开发利用自然资源时,超越了环境自身的承载能力,就会使生态环境质量恶化,或出现自然资源枯竭的现象,这些都属于人为造成的环境问题。

2. 全球性的环境问题

20 世纪 50 年代以后,人类开始进入到现代工业化全面发展时期,这样也就进入到环境严重污染的时期,出现了全球性的环境问题。具体体现在以下 10 个方面:

- ① 大气污染日益严重;
- ② 温室效应、臭氧层的破坏、酸雨等问题仍未解决;
- ③ 水土流失和土壤退化;
- ④ 土地荒漠化扩大;
- ⑤ 水体污染和水资源危机;
- ⑥ 森林的乱砍滥伐;
- ⑦ 生物物种急剧减少;
- ⑧ 矿产资源严重短缺;
- ⑨ 人口恶性爆炸;
- ⑩ 贫困和战争频繁。

环境问题的产生使人们认识到每个国家所面临的环境问题不是独立存在的,各国之间的生存环境都是息息相关的。而环境问题的危害又使人们认识到环境的合理保护和利用对于整个人类的生存与发展是至关重要的。1972 年 6 月 16 日,联合国人类环境会议在瑞典首都斯德哥尔摩举行,会议讨论了当代环境问题,讨论了保护全球环境的战略,通过了《人类环境宣言》,会上呼吁“为了这一代和将来的世代而保护和改善环境,已成为人类一个紧迫的目标”。同年,联合国大会通过决议将 6 月 5 日定为“世界环境日”。在巴西里约热内卢国际会议中心的大厅里,有一堵高 2.5 m、宽 5 m 的“地球誓言”签字墙,上面用中、英等七种文字写着:“我保证竭尽全力为今世后代把地球建成一个安全而舒适的家园而奋斗。”

3. 中国所面临的环境问题

中国也存在着严重的环境污染和生态破坏两类环境问题。有关统计表明,中国 1/3 的国土已经被酸雨污染,主要水系的 2/5 已经成为劣五类水,3 亿多农村人口饮用水质堪忧,4 亿多城市居民呼吸着被污染的空气。具体表现在以下几方面:

- ① 自然资源的严重破坏;
- ② 农业环境污染普遍;
- ③ 水污染严重及普遍的缺水问题;
- ④ 以烟尘和二氧化硫为特征的煤烟型大气污染问题突出;
- ⑤ 噪声危害严重;
- ⑥ 工业固体废弃物污染严重;
- ⑦ 环境污染对人体健康危害和造成的经济损失大。

环保工作面临的最突出矛盾是经济发展与环境保护的矛盾,解决这一矛盾,需要把握好二者的平衡点。经济发展与环境保护的平衡点包含定性、定量两方面,定性方面是产业结构和布局符合功能区定位,定量方面是排污总量、生态扰动满足环境质量达标要求。环境质量超标就要减排污染物,减排目标为环境质量达标;环境质量不超标就可适当增加污染物排放,增排的约束仍为环境质量达标。达标就是发展与保护在定量方面的平衡点。

把环保工作落到实处,要靠科学的机制。环保工作机制是政府对辖区环境质量负责,环保部门对政府环保工作实施统一监督管理,各相关部门分工负责。环保部门要将辖区环境

问题(平衡点定性、定量两方面问题)理清楚,将解决问题的办法向政府说清楚,将相关部门分工负责的任务列清楚,通过政府目标责任书形式将目标任务下达给本级相关部门和下一级政府,实施目标任务完成考核制度,进而很好地解决我国面临的主要环境问题。

第二节 环境污染和化学污染物

由于人们对工业高度发达的负面影响预料不够,预防不利,工业生产排出的废物和余能进入环境,带来了环境的污染和干扰,出现了全球性的三大危机:资源短缺、环境污染、生态破坏。

一、环境污染

环境污染是指在生态系统中有毒物质进入环境后使环境的构成或状态发生变化,导致环境质量下降,从而扰乱和破坏了生态系统以及人们正常的生活和生产的现象。当有害物质或因子进入环境并在其中发生扩散、迁移、转化时,会与生态系统的诸要素发生作用,使生态系统的结构与功能发生变化,对人类以及其他生物的生存和发展产生不利影响。例如,因化石燃料的燃烧,使大气中的颗粒物和 SO_2 浓度增高,危及身体健康和其他生物的生存,并腐蚀材料,给人类社会造成损失;工业废水和生活污水的排放,使水体质量恶化,危及水生生物的生存,使水体失去原有的生态功能和使用价值。

环境污染除了给生态系统造成直接的破坏和影响外,污染物的积累和迁移转化还会引起多种衍生的环境效应,给生态系统和人类社会造成间接的危害。有时这种间接的环境效应的危害比当时造成的直接危害更大,也更难消除。例如,温室效应、酸雨和臭氧层破坏就是由大气污染衍生出的环境效应。这种由环境污染衍生的环境效应具有滞后性,往往在污染发生的当时不易被察觉或预料到,然而一旦发生就表示环境污染已经发展到相当严重的地步。

二、化学污染物

在近代科技发展过程中,化学科学和化学工业为人类提供了大量而丰富的化学产品,包括生产和生活用品,为现代化社会做出了重要贡献。但与此同时,大量的有害化学物质也进入了环境,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平衡。

在大气、水体、土壤等环境中,由人类生产的有害化学物质,即化学污染物无处不在、无孔不入。例如,饮用水、空气或者进入食物链中的重金属和农药残留物,养殖产品中的抗生素、催生素残留物,使用不当或不科学使用的食品添加剂、防腐剂等,这些有毒有害的有机或无机化学物质达到或者积累到一定程度,都可以成为化学污染致病因素。许多化学污染物具有致癌、致畸、致基因突变的作用,能诱发癌症和神经性疾病等多种病症。据大量资料统计分析,人类肿瘤病因大部分与环境污染直接有关,有人甚至估计与环境化学污染物有关的肿瘤至少占 90% 以上。

特别是当今国际上关注的、被称作“持久性有机污染物”(persistent organic pollutants, 简称 POPs) 的许多毒害性有机化学物,它们在环境中多为低浓度、高毒性、半挥发性;在自

然条件下具有难降解性,因而能在空气、水和迁徙物中长期残留或远距离迁移,在远离排放源的陆地生态系统或水域生态系统中沉淀并蓄积起来;因其具有脂溶性,因而易在人体和生物体内产生生物积聚作用,并能通过食物链产生显著的生物富集(放大)作用。这些持久性有机污染物已经成为环境激素。它们的主要危害有:干扰或损害人体和生物体的内分泌系统,阻碍免疫功能或使之失调,引起生殖发育的变异并影响生命的繁衍,威胁着生物多样性并可能损害整个生态系统,从而严重威胁着人类的生存和发展,并会对环境造成难以修复的破坏。

因此,化学污染物及其在环境中的迁移、转化是环境污染的重要因素。为此,发展与加强环境化学的研究,对于深入了解与解决环境问题是十分重要的。

第三节 环境化学的定义、内容和研究方法

环境化学是在化学科学的传统理论和方法基础上发展起来的,以化学物质在环境中出现而引起的环境问题为研究对象,以解决环境问题为目标的一门新兴学科。

一、环境化学的定义和研究内容

1. 环境化学的定义

环境化学是在无机化学、有机化学、分析化学、物理化学、化学工程学的基础上形成发展起来的。它的兴起和发展,为人类保护、改善环境提供了化学方面的依据。环境化学的定义迄今尚不统一,不同的学者从各自的角度和学科的基础给出不同的定义。较为普遍接受的定义为:环境化学是研究有害化学物质在环境介质中的存在、化学特性、行为和效应及其控制的原理和方法的科学。即是从化学的角度出发,阐述和解释由于人类活动而引起的环境质量的变化规律及其保护和治理环境的方法原理。它是环境科学的核心组成部分,也是化学学科的重要分支。

2. 环境化学的研究内容

环境化学的研究内容基本上涉及了环境的各个方面。它主要是运用化学的基本理论和方法,研究化学污染物在大气圈、水圈、土壤-岩石圈和生物圈中的来源、存在形态、浓度,研究它们在环境中迁移、转化和归宿的规律。总的来说包括以下几个方面:

- ① 有害物质在环境中存在的浓度水平和形态。
- ② 潜在有害物质的来源,它们在个别环境介质中和不同介质间的环境化学行为。
- ③ 有害物质对环境和生态系统以及人体健康产生效应的机制和风险性。
- ④ 有害物质已造成影响的缓解和消除以及防止产生危害的方法和途径。

造成环境污染的因素主要有物理因素、化学因素和生物因素,其中由化学物质引起的环境污染占80%~90%。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物在环境介质中的迁移、转化、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的作用。

目前,环境化学研究的主要环境问题有:全球气候变化、酸沉降与温室气体、水体富营养化、赤潮与藻毒素污染、土壤和地下水污染、持久性有机污染物和环境内分泌干扰物、室内空气质量、重金属和类金属污染以及食品安全和生态安全等。

因此,环境化学是认识与解决整个环境问题的主脉络。没有环境化学的贯穿,多数的环境问题是混沌不清的,而环境保护目标的达到更是奢谈。

二、环境化学的研究方法

环境化学的研究以化学方法为主,同时借鉴生物学、医学的思路和手段,因而环境化学的发展本身即推动这些学科与环境化学的相互渗透和交叉。具体来说,它的研究方法主要有以下四个方面:

1. 现场研究

现场研究是指在所研究区域直接布点采样、采集数据,了解污染物时空分布,同步监测污染物变化规律,有地面监测、航测等,人力物力需求较大。

2. 实验室研究

实验室研究是指在实验室内仅对所感兴趣的化学物质进行有关的一两个影响参数研究,而把其他的一些影响参数尽可能排除在外。绝大多数的环境化学研究是通过这种方法进行的。

3. 实验模拟系统研究

自然环境通常处于变化不定的状态,各种因子时刻都发生变化,要在实地对化学物质进行一些规律性研究是困难的。而实验室研究往往难以进行多个影响参数、多种物质共同存在下的化学物质的环境行为、归宿和效应等研究,为此发展了实验模拟系统研究。

实验模拟系统研究是指试图把自然环境的某个局部置于可以控制、调节和模拟的系统内,对化学物质在诸多因子影响下的环境行为进行研究。

4. 计算机模拟研究

化学物质在环境中所发生的迁移、转化、归宿及生态效应等牵涉到该物质在环境中发生的各种物理过程、化学反应和生物化学过程,而这些过程与反应又受环境中诸多因素的影响,因而化学物质在环境中的变化是相当复杂的。上述研究方法不可能对所有因素加以考虑。在计算机技术飞速发展的今天,应用计算机对化学物质在局部环境或全球环境的迁移、转化进行模拟研究已成为环境化学研究的一个重要方法。

总的来说,在环境化学的研究中,主要以化学方法为主,另外还要配以物理、生物、地学、气象学等其他学科的方法。因此,要求研究人员具有较广泛的各相关学科的理论知识和实验动手能力。

第四节 环境化学的分支学科及研究进展

环境化学是新近发展起来的环境学与化学交叉起来的边缘学科。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,环境化学的分支学科主要包括环境分析化学、环境污染化学、污染控制化学、污染生态化学等,各分支学科在研究应用中得到不断地发展壮大。

一、环境化学的分支学科

环境化学的分支学科可归类为四大分支学科,见表 1-2。

表 1-2 环境化学分支学科总汇

环境化学			
环境分析化学	环境污染化学	污染控制化学	污染生态化学
环境有机分析化学	大气环境化学	大气污染控制化学	
环境无机分析化学	水环境化学	水污染控制化学	
	土壤环境化学	固体废物污染控制化学	

1. 环境分析化学

环境分析化学是研究如何运用现代科学理论和先进实验技术来鉴别和测定环境污染物及有关物种的种类、成分与含量以及化学形态的科学,是取得环境污染各种数据的主要手段。例如,某一区域环境受到化学物质污染,首先要查明危害是由何种化学污染物引起,因此要鉴别污染物种类,即定性分析。其次为了明确污染程度,要测定污染物含量,即定量分析。

因此,环境化学不但是环境化学的一个重要分支学科,也是环境科学和环境保护的重要基础学科。从某种意义上讲,环境科学的发展依赖于环境分析化学的发展。将来的 20 年,环境分析化学的发展方向是:

- ① 环境样品前处理的新方法和新技术;
- ② 新的高灵敏度、高选择性、高特异性、高准确度和高精度分析方法;
- ③ 某些热门环境分析化学,如 POPs 分析、形态和分级分析等问题的研究;
- ④ 环境样品分析仪器新原理的发现和适合我国特点的分析仪器研制;
- ⑤ 最新科技成果在环境分析化学中的应用。

2. 环境污染化学

环境污染化学主要研究化学污染物在大气、水体和土壤这些环境介质中的形成、迁移、转化和归宿过程中的化学行为和生态效应。因此环境污染化学又划分为大气环境化学、水环境化学、土壤环境化学。

(1) 大气环境化学

大气环境化学研究大气中对环境有影响的重要组分在大气中的来源、存在形态、迁移过程中的化学转化、归宿及对大气环境质量的影响。研究这些组分的动态变化过程及其产生和消失的化学反应机制、存在状态和结构以及质和量的变化,是大气环境化学的重要内容。

(2) 水环境化学

水环境化学研究化学物质在水环境中的存在(包括浓度、形态和分布)、行为(包括迁移、转化和归宿)与效应(环境效应和生态效应)的学科。其主要研究范围和内容是天然水体的污染过程和各种用水废水的净化过程,并着重物相之间的化学转化过程及其归宿和趋势的研究。

(3) 土壤环境化学

土壤环境化学研究化学物质引起土壤性质的变化以及各种化学物质在土壤环境介质中的迁移、转化、积累和降解的过程及其污染的化学行为、反应机制与归宿的规律,以及化学物质由土壤向作物传递,再经食物链危害人体健康的途径和过程等问题。造成土壤污染的物

质主要有重金属、农药等,它们与土壤发生复杂的化学反应或生化作用而改变土壤的性质,如土壤胶体表面的电荷性质、酸碱度和氧化还原电位等,这些性质使化学污染物质在土壤中的行为错综复杂,它们构成了土壤污染化学研究的重要内容,也是土壤环境化学的组成部分。

以上三个次级分支学科既各自深入发展又相互交叉、渗透,共同应用在自然界这个复杂体系动态过程的研究中。所以,环境污染化学内容十分丰富,是环境化学的主要组成部分。环境污染化学的未来的发展方向是:

- ① 全球气候变化和新的温室气体发现及环境效应研究;
- ② 转化过程的耦合和环境影响的协同或拮抗效应的大气复合污染特征研究;
- ③ 水体富营养化和赤潮机理,以及其他水质化学过程研究;
- ④ 污染物在水-土壤-植物系统中的迁移转化及生物生态效应研究;
- ⑤ 有毒有害污染物的环境行为及其在环境介质中的反应机理研究;
- ⑥ 多种化合物对环境的复合污染效应研究;
- ⑦ 化学污染物在环境介质微界面的反应机制研究;
- ⑧ 化学污染物在多介质环境中跨界面迁移转化过程机理研究;
- ⑨ 纳米污染物的微界面行为与微界面的相互作用过程及机理。

3. 污染控制化学

污染控制化学主要研究与环境整治、污染控制和污染环境原位修复工艺技术等有关化学机制以及无污染和少污染工艺技术中的化学问题。

因此,污染控制化学是环境化学中应用性很强的一个分支,它的任务就是研究与污染(末端及源头)控制有关的化学机制和工艺技术中的化学基础问题,为开发高效经济的污染控制技术和发展清洁工艺提供化学依据。污染控制化学将从以下方向发展:

- ① 污染物的管道末端治理的新途径和生产全过程污染控制的新体系;
- ② 污染环境原位修复的新技术;
- ③ 无污染或少污染的新能源、新技术、新工艺和新材料的开发;
- ④ 固体废物处理和综合利用的基础和应用研究;
- ⑤ 单元技术强化和技术集成与过程优化研究;
- ⑥ 居室内污染控制技术的研发。

4. 污染生态化学

污染生态化学是在种群、个体、细胞和分子水平上研究污染物与生物之间相互作用过程以及污染物引起生态效应的化学原理、过程和机制,并与生态毒理学交叉的科学。即在宏观上研究化学物质在维持和破坏生态平衡中的基本作用,微观上研究化学物质和生物体相互作用过程的化学机制。污染生态化学今后的发展方向是:

- ① 化学污染物的生态毒理学及新方法研究;
- ② 化学污染物的生态风险评价;
- ③ 分子水平上污染物在生物(植物和动物)与环境介质之间的相互作用机理研究;
- ④ 潜在的环境内分泌干扰物和致癌、致畸、致突变化学污染物的发现和判别;
- ⑤ 新型疾病起源的污染化学研究;
- ⑥ 新产品的生态安全评价;

⑦ 发现和研究新的环境生物标识物。

二、研究进展

1. 全球层面的环境化学学科发展

环境化学的发展大致可分为四个阶段:1970 年以前为孕育阶段,70 年代为形成阶段,80 年代以后为发展阶段,而从 90 年代开始就进入了成熟阶段。

(1) 孕育阶段

20 世纪 40 年代至 60 年代,发达国家只注重经济发展而忽视环境保护,造成污染环境 and 危害人体健康的事件接连发生,如日本的水俣病和英国伦敦、美国洛杉矶的光化学烟雾事件等。惨痛的结果使人们意识到环境问题的重要性,科学家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。60 年代初,分析化学和化学工程应用于环境中有机氯农药残留的监测和行为研究中,这使得环境化学出现了雏形。

(2) 形成阶段

到了 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,又陆续出版了一系列与化学有关的专著。这些专著初步确定了环境化学的研究对象、范围和内容,标志着环境化学已经独立存在。紧接着 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,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。这些举措又为环境化学的发展提供了学术氛围和组织支持。

(3) 发展阶段

整个 80 年代是环境化学全面发展的阶段。在这期间,科学家们对各主要元素,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进行了研究;同时加强了污染控制化学的研究范围,重视化学品安全性评价和环境致癌物的研究;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。1995 年诺贝尔化学奖第一次授予三位环境化学家 Crutzen、Rowland 和 Molina,他们提出的平流层臭氧破坏的化学机制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。这充分表明环境化学家的工作已经引起全人类的重视,环境化学已经走向全面发展。

(4) 成熟阶段

90 年代后是环境化学成熟的阶段。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。例如:国际纯粹与应用化学联合会(IUPAC)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。而 1991 年和 1993 年在我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。在此期间,环境化学研究的某些重点领域取得了突破性进展,显示了环境化学在解决重大环境问题方面的重要作用。比如,生物芯片在环境分析化学中的应用、大气对流层的自由基化学、冰晶表面的

光化学效应、湖泊富营养化水华爆发的“促进因子”、土壤中重金属存在形态及其转化过程、分子水平上的生态毒理学、污染治理和污染环境原位修复的新原理和新技术,以及化学污染物的构效关系和预测预报模型等方面的研究等使得环境化学成为解决环境问题的坚实基础。

2. 我国环境化学研究进展

我国的环境化学研究已经有了 40 多年的历史,自 70 年代起,开始在典型地区进行环境质量评价,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,对大气、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研究工作。

① 创新性研究成果辈出,研究队伍逐渐壮大。

从“八五”开始,研究人员在湖泊富营养化、水污染治理、垃圾治理、水体颗粒物和难降解有机污染物环境化学行为和生态毒理效应、大气化学和光化学反应动力学、对流层臭氧化学、有毒化学品的环境风险性评价基础、有毒有害化学品多元复合体系的多介质环境行为、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、烟气脱硫脱硝一体化技术、排气中 CO_2 固定技术、纳米光催化技术、废弃物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,形成了一支从政府到地方各级行政管理与环境保护部门、科研单位、高等院校等多层次的管理人员与研究人员队伍。

② 我国的环境化学注重结合我国的资源和环境实际开展研究。

如国家自然科学基金重大项目“稀土农用的环境化学行为及生态毒理效应研究”就是针对我国具有丰富的稀土资源这一实际状况进行的,为稀土农用的安全性评价提供了基础数据,并对农用稀土在环境、生态和毒理等方面的危险性问题提出了看法;而“典型化学污染物在环境中的变化及生态效应”这个项目也是将我国常用的农药作为研究对象中的一种。因此可以说,现阶段的环境化学是中国特色的环境化学。

3. 环境化学的发展趋势

环境化学是一门迅速发展的新兴学科,其前沿领域不断更新,日益变换。根据目前国际研究现状环境化学将会出现多极发展。环境化学的发展趋势主要表现在以下几方面:

① 微观方面,即在微观方面将从分子水平上研究化学污染物的热力学参数和动力学过程,并借此揭示复合化学污染物作用的微观机制和生态毒理效应及对人体的影响。

② 宏观方面,即在宏观方面将从多介质多界面环境的整体角度研究化学污染物在不同层次上大尺度的迁移和转化过程,并据此揭示和预测化学污染物在实地环境中的归趋和行为,为发展污染环境的原位修复提供技术依据和有效途径,并在国家对于相关环境问题的宏观决策中发挥作用。

③ 与其他学科相互渗透,特别是生命科学和信息科学的相互渗透,并在交叉中形成环境化学的新思想和新方法。

④ 新化学污染物的不断发现和鉴别,污染物在环境中的实时动态变化规律的探索和环境生态安全的早期预报。

⑤ 研究手段的仿真化和智能化。

随着世界各国对环境污染问题的重视和大众对生态环境的改善要求的迫切性,21 世纪的环境化学无论是从控制环境污染和生态恶化,还是从改善环境质量和保护人体健康上都