

环境保护专业系列教材

环境化学

陈金龙 主编



国环境科学出版社

环境化学

第11卷第1期

2013年1月15日



环境化学物与健康风险评估

环境保护专业系列教材

环境化学

陈金龙 编著

中国环境科学出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

环境化学/陈金龙编著. —北京:中国环境科学出版社
,1999

(环境保护专业系列教材)

ISBN 7-80135-875-9

I. 环… II. 陈… III. 环境化学-专业学校-教材 IV. X
19

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 44006 号

中国环境科学出版社出版

(100036 北京海淀区普惠南里 14 号)

北京巨山印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所发行 各地新华书店经销

*

1999 年 9 月第 一 版 开本 850×1168 1/32

1999 年 9 月第一次印刷 印张 10.25

印数 1—10000 字数 266 千字

定价:17.50 元

编审说明

环境问题是当前全球普遍关注的严重问题之一,环境保护是我国的一项基本国策,也是实现国民经济可持续发展战略的一个重要组成部分。大、中专学校开设环境保护专业或有关环境保护课程势在必行,本书就是为了满足这种需要而编写的。

环境化学是环境科学的一个重要分支学科。它是研究化学污染物,以及对生态体系可能带来影响的化学物质在自然环境中化学变化规律的一门科学。另外,它的主要内容还应包括:环境中化学污染物的鉴定、测定和检测。需要说明的是,本书侧重于介绍污染物在环境中的来源、分布、迁移、转化、归宿的化学原理,并扼要介绍了控制化学污染物、治理环境污染的原理、原则和方法。至于环境中化学污染物的鉴定、测定和检测,将在环境分析化学课程中阐述,在此未作介绍。经审定,本书可作为大中专学校、广播电视中专和成人中专教材,也可作为其他学校进行环境教育的读物。

本书初稿曾作为讲义在浙江省广播电视中专环境保护专业试用,本次出版之前作了许多修改。尽管如此,由于编者水平有限,在体系和内容上难免存在不少错误和不足之处,敬请广大读者和有关专家不吝批评、指正。

环境保护专业系列教材编委会

1999年9月

目 录

绪论	(1)
第一节 什么是环境	(1)
第二节 环境污染	(2)
第三节 环境科学的兴起及其发展	(4)
第四节 环境化学的范围与任务	(6)
第五节 污染物浓度的表示方法	(8)
思考与练习	(9)
第一章 自然环境以及能量、物质在自然环境中的循环	(10)
第一节 我们的家园——地球	(10)
第二节 太阳辐射	(32)
第三节 生态学的基础知识	(37)
第四节 物质在生态系统中的循环	(42)
思考与练习	(47)
第二章 大气环境化学	(49)
第一节 大气和大气污染	(49)
第二节 大气中的污染物	(57)
第三节 光化学污染	(82)
第四节 酸雨	(92)
第五节 环境空气质量标准	(100)
第六节 大气污染的防治	(112)
第七节 全球性大气环境问题	(134)
思考与练习	(141)
第三章 水体环境化学	(144)
第一节 水体和水资源的概念	(144)
第二节 水的分子结构和物理化学性质	(147)

第三节	天然水的杂质和化学特征·····	(151)
第四节	水质指标和水质标准·····	(165)
第五节	水体污染·····	(181)
第六节	水体中污染物的迁移和转化·····	(206)
第七节	废水净化的基本原理·····	(231)
	思考与练习·····	(257)
第四章	土壤环境化学 ·····	(260)
第一节	土壤的形成与组成·····	(261)
第二节	土壤的性质·····	(268)
第三节	土壤的污染·····	(274)
第四节	土壤污染的防治·····	(296)
	思考与练习·····	(299)
第五章	固体废物及其处理 ·····	(301)
第一节	固体废物的来源与分类·····	(301)
第二节	固体废物的回收利用·····	(307)
第三节	固体废物的处理·····	(313)
	思考与练习·····	(317)

绪 论

第一节 什么是环境

什么是**环境**?在科学研究上,人们通常把所研究的那部分物质和空间,与其他的物质和空间隔开,把前者称为**系统(system)**,把后者称为**环境(environment)**。由此可见,环境是相对于中心事物而言的。本书所说的环境,实际上是相对于“人类”这个中心来说的。《中华人民共和国环境保护法》指出:“本法所称的环境是指:大气、水、土地、矿藏、森林、草原、野生动物、野生植物、水生植物、名胜古迹、风景游览区、温泉、疗养区、自然保护区、生活居住区等。”显然,这里是把所有作用于“人类”这一中心事物的外界事物看作为环境,实际上所谓环境是指人类赖以生存和发展的环境,主要包括大气、水体、土壤和生物界等四大地球化学环境要素。随着人类活动范围的扩展,环境还涉及一部分宇宙空间。

人类的历史是人类不断适应、认识和改造自然的过程。按照人类适应、认识和改造自然的能力,人类的历史大致分为三个阶段:

史前时期,人类在很长的岁月里,与动物没有多少区别,仅仅只是**自然食物的采集者和捕食者**,后来逐步学会凭借极其简单的工具改造自然,不仅活动的的能力很小,而且活动范围极其狭小,生活条件十分简陋,生存十分艰难,与环境的关系表现在主要以人类的生活活动、生理代谢过程与环境进行物质和能量的交换,主要的特点是**人类对环境的依赖**。

经过漫长的岁月,人在改造自然中,逐步认识了火,学会了用火,

学会了培育植物,学会了驯化和饲养动物,开创了农业和畜牧业,后来人类进一步学会了使用畜力、风力、水力,生产力逐步提高,人类社会也得到了较大的发展。这时,人类与环境的关系表现在人类摆脱了原始的对自然环境完全的依赖状态,主要的特点是人类对环境的改造作用开始显示出来,与此同时,也产生了相应的环境问题;不过直到 18 世纪中叶,人类对于环境的作用仍没有摆脱对自然力量的应用,仍受到自然较大的束缚,人类社会发展仍很缓慢。

18 世纪中叶,英国爆发了以使用蒸汽作动力为标志的工业革命,蒸汽机、伏打电池等的诞生,以及随后一系列科学的发现、技术的发明,使人类获得了前所未有的改造自然的力量,人类社会获得了空前的繁荣;到了今天,人类已经在很大程度上摆脱了自然力的束缚,把自己的足迹踏遍世界每一个角落,核能的使用,合成材料的不断发明和使用,微电子技术带来的信息革命,使得生产力成千上万倍地增长,人类生存质量得到空前的提高。不过,科学的进步和技术的发展,固然极大地增强了人类征服自然的力量、极大地丰富了人类的物质生活,但同时也面临日益严峻的环境问题。

所谓“环境问题”,是指人类活动作用于人类周围的环境而引起的环境质量的改变,以及这些变化反过来影响人类的生产、生活和人体健康的问题。

第二节 环境污染

人区别于动物最大标志,是人能够能动地、有目的地利用、改造环境。人与环境的关系主要是通过人的生产活动和消费活动表现出来的,人通过生产活动从自然界取得物质和能量,又通过消费活动把废气、废水、废物向自然界排放,即通过生产、消费与环境进行物质的、能量的交换。在生产和消费的活动中,人类的行为影响环境、改造环境,也受环境的影响和制约。这种互相影响的大小、性质和深度是

随着人类自身的发展、人类社会的发展以及环境的条件变化而变化的。

自然环境对于污染物具有自动的调节功能。例如植物能吸收 CO_2 ，有的植物能吸收 SO_2 ，植物枝叶的摆动能阻滞空气的运动速度，使粉尘乃至漂尘沉降或被叶片吸附；微生物是分解者，对污染物也有分解作用，总之，具有消除污染物的自净能力。

在 18 世纪工业革命之前，人类的生产、消费活动同现代一样，把废气、废水、废弃物排放到自然环境中，之所以那时没有造成环境污染，是因为那时的污染物排放量小，没有超出自然界的自净能力，通过在生态系统物质循环的迁移、转化过程中消除污染物，保持生态平衡，达到环境（生态系统）的自净。

工业革命极大地加强了人类征服自然的能力，不过，这种征服自然的“每一步胜利，在第一步确实都取得了我们预期的效果，但是在第二步、第三步，都有了完全不同的，出乎预料的影响，把第一步结果又消除了”（马克思语）。工业化带给环境的首先是大气、水体的严重污染，每年数以亿吨计的废气、废水、废物排放到大气、水体和环境中，大大地加重了自然环境分解污染物的压力；人口急剧增长，要求开发更多的资源，生产更多的衣食住行所需的物资，对自然的索取更多了，远远超出了自然环境的自我调节能力，生态平衡被破坏，造成了污染。

环境污染有自然因素，如火山喷发、地震、飓风、流行病等异常变化，这些由自然现象造成的污染，称为**第一环境问题**。环境污染还有更重要的人为因素，例如人类对于自然资源的不合理使用带来的污染，称为**第二环境问题**。我们所说的环境问题主要是第二环境问题。目前的环境问题已经到了十分触目惊心的程度。据统计资料，全世界每年向环境排放的废气有 6 亿多吨，气溶胶有 10 亿吨，废水 5000~7000 亿吨，固体废物 30 亿吨。可以说，现在世界上，除了人烟稀少的地区以外，已经无人不感到空气污染、河水变臭、地球变暖（迄今为止

已连续 10 年暖冬)、森林大量减少、草原荒漠化等等环境污染所带来的巨大危害。纯净水、矿泉水、氧吧等的出现,与其说是时髦,毋宁说是人们对环境污染的无奈。

第三节 环境科学的兴起及其发展

存在决定意识。尽管人类对环境的研究在工业化之前就已经进行,但那是单纯出于求知。18 世纪工业革命之后,随着工业的发展,人口的增长,环境污染事件时有发生,人们开始着手探索如何治理已经出现的污染,探索保护大气和水体的环境,但人们对于环境保护的认识还只是停留在分散的、肤浅的、直观的阶段。**环境科学是随着环境污染问题日趋严重的情况下逐步建立起来的。**

20 世纪 40~50 年代,接连发生了英国伦敦烟雾事件、美国洛杉矶光化学烟雾事件、日本的水俣事件等严重的环境污染事件。为了避免类似的污染事件悲剧重演,人们开始认真研究这些严重污染事件发生的机制;1962 年,美国作家雷希尔·卡尔逊发表了以文学形式描述滥用农药造成污染环境、破坏生态,最终毁灭生物悲剧的小说《寂静的春天》,轰动了西方世界。《寂静的春天》再次告诫人类充分认识保护生态的重要性,进一步唤起了人们对环境科学的重视。

从 60 年代初期到 60 年代末期,环境科学已经得到各方面的重视,西方有许多国家通过政治的、经济的手段,加强了对环境的管理,控制污染物的排放,有的国家还制定了《环境保护法》。这样,环境科学就进一步发展到把社会科学作为自己的一个组成部分。

60 年代末到 70 年代中期,环境保护已经从最初的被动地治理污染的后果,转变为加强管理、控制减少污染的发生,即从单纯的“治”发展到“防治结合、以防为主”的阶段,一些西方国家如美国建立了“环境影响评价制度”,以防患于未然。

70年代以后,各国为了谋求美好的环境,强化了从整体上认识环境问题的意识,强调发展经济和保护环境协调,以及合理地综合利用能源和资源,最大限度地保护环境,一些国家包括我国在内,把环境教育也列入国民教育的范围,环境科学得到了长足的发展。

我国在环境保护方面起步较晚,建国初期,国家忙于医治战争创伤、恢复和发展国民经济,直到70年代,鉴于国外环境污染所造成的严重危害,以及我国正在出现并且发展迅速、日趋严重的环境污染,也开始重视环境保护和污染治理工作。当时的主要工作是对城市抓“消烟除尘”,并对黄海、渤海、黄河、长江、松花江、淮河和珠江等重要水域以及某些城市、工矿区开展环境调查与质量评价;在积累资料的基础上,提出环境评价的原理及方法,建立一些模式,为环境规划和综合治理提供技术依据;同时开展环境监测分析技术、污染防治技术和环境污染对人体与生物体健康影响的研究。1977年我国制订了第一个环境科学10年规划,1979年成立了中国环境科学学会。1987年以后,一些院校相继开设了环境保护专业,从此,环境国民教育开创了新局面。

环境科学是一门内容十分广泛的边缘科学。按照它的主要任务和内容,应当属于自然科学,但正如前述,环境科学也把社会科学作为它的组成部分。环境科学是从一些老的学科中脱胎而来的,它的核心是环境学(综合环境学、理论环境学、部门环境学等),它从老学科分化出来,分别形成了环境数学、环境物理学、环境生物学、环境化学、环境工程学、环境经济学、环境法学、环境管理学、环境医学等。

环境科学是还在发展中的科学,它的体系和内容还在不断地完善之中。

第四节 环境化学的范围与任务

环境化学是环境科学的一个重要分支学科。它是研究化学污染物以及对人类生态体系可能带来影响的化学物质在自然环境中的化学变化规律的科学。具体地说,它的主要内容包括三个方面:一是研究污染物在环境中的来源、分布、迁移、转化、归宿的化学原理;二是控制化学污染物、治理环境污染的原理、原则和方法;三是环境中化学污染物的鉴定、测定和检测。

由于污染物质存在于地球的大气圈、水圈、岩石圈和生物圈,环境化学是一门研究范围十分广泛的学科。

一、环境化学的特点

环境化学有以下两个特点:

(一)它的研究对象是“二大一微”,“二大”一是研究的范围大、物质数量巨大。例如,大气环境化学以大气层作为它的主要研究对象,水体环境化学以水圈作为它的研究对象,而大气和水圈的质量分别约为 5.3×10^{18} 千克和 1.5×10^{21} 千克,大气层所占的空间是包围地球的厚达500千米的球形圈,水圈的体积大约是14亿立方千米。二是涉及的物质品种十分巨大,撇开天然物质不说,仅仅人工合成的物质就有上千万种。“一微”是存在于研究对象之中的污染物质的含量往往很微小,其绝对含量往往在 $10^{-6} \sim 10^{-12}$ 克的层次,微小还可以从含量的单位往往十分小可以看出,例如毫克/米³、微克/米³、百万分之几、十亿分之几。这些含量极其微小的污染物质分布范围广、迁移快、转化迅速。

(二)因为环境污染物涉及大气圈、水圈、岩石圈和生物圈,反过来说影响污染物的化学变化因素也多,有物理的,有化学的,有物理化学的,还有生物的、气象的,以及上述因素的协同作用。这样环境化

学就有综合性的特点,即主要采用化学方法,此外还往往要配合物理的、生物的、数学的、气象的方法。例如研究大气污染时,不仅要研究污染物本身的化学问题,还要研究光照(光化学的)以及地形地貌(影响当地的近地大气的气象条件)的作用;研究农药的残毒时,除了农药的化学分解外,还要研究它的光化学分解、生物降解等。

由于环境化学具有这样的特点,环境化学学科就与其他化学学科有很大的不同。

二、环境化学的形成

环境化学是一门年轻的学科,它是人们在改造自己的生存环境的过程中逐步形成的。环境化学是从早先的所谓“四大化学”即无机化学、有机化学、分析化学、物理化学以及化学工程学中脱胎而来的。人们早先从开发和利用资源的需要出发,已经研究建立了大气化学、水化学、土壤化学、化工原理、化学工程学等学科。从四五十年代起,发生了诸如伦敦烟雾事件、洛杉矶光化学烟雾事件、日本水俣事件等震惊世界的环境污染事件,在这些事件中,成千上万的人死于非命或染上奇怪的疾病。从那以后,化学物质在大气、水体、土壤中的污染现象逐步引起人们的严重关注。人们从保护自然生态和自身的生存环境以及健康出发,着手研究环境中的化学问题,环境化学逐步发展起来了。

三、环境化学的内容

环境化学的主要内容主要包括两个方面:环境污染化学和环境分析化学。环境污染化学研究污染物在环境中的存在与变化,包括存在形态、积累、迁移、转化及其反应机理和规律。环境分析化学研究环境中污染物的成分、种类数量,以及对污染物的定性定量的监测分析。

影响污染物的因素,有物理的,有化学的,有物理化学的,有生物

的,还有上述因素的协同作用,环境污染化学研究的课题往往涉及到生态学、生物化学、物理化学等学科;污染物在环境中的含量极微,环境分析化学的实验和测试手段必须十分灵敏、准确,要求选择性好、重现性好、速度快、自动化程度高。为了实现上述要求,环境分析化学几乎动用了现代分析化学的所有手段和方法。

考虑到本专业的培养目标和课程设置,环境分析化学的内容不作介绍,而在介绍环境污染化学的同时,适当地介绍环境污染治理的内容。

第五节 污染物浓度的表示方法

环境中污染物浓度通常用单位体积内所含污染物的质量表示。常用的单位有毫克/米³(mg/m³)、微克/米³(μg/m³)、毫克/升(mg/L)、微克/升(μg/L)。这些单位的换算关系是:

$$1 \text{ 毫克/米}^3 = 1000 \text{ 微克/米}^3$$

$$1 \text{ 毫克/升} = 1000 \text{ 毫克/米}^3$$

$$1 \text{ 微克/升} = 1000 \text{ 微克/米}^3$$

在大气质量标准中所用的单位是毫克/米³(mg/m³),这是指标准状态下(0℃、100千帕)每立方米大气(空气)中含多少毫克的污染物。

气态或蒸汽态污染物浓度还有另一种表示方法,即气态污染物的体积和气体总体积的比值,常见的单位有体积/百分数,(%)、ppm(part per million,百万分之几)、ppb(part per billion,十亿分之几)、ppt(part per trillion,万亿分之几)我国法定单位是体积分数,或体积百分数,而不用ppm、ppb、ppt。

气态污染物的两种单位可以进行换算,设某气体的相对摩尔分子质量是 M (克/摩),由标准状况下1摩尔气体的体积是22.4升得到,它的用体积分数表示的浓度 $c_{V/V}$ 与用单位体积质量(毫克/米³)

表示的浓度 c 之间的换算关系是:

$$c_{V/V} = \frac{22.4 \times 10^{-6}}{M} \cdot c \text{ 或 } c = \frac{M \times 10^6}{22.4} \cdot c_{V/V}$$

[例] SO_2 的相对摩尔分子质量是 $M_{\text{SO}_2} = 64$ 克/摩, 测得某地大气中 SO_2 的浓度是 0.50 毫克/米³, 试问 SO_2 的体积分数是多少?

[解] $\because c = 0.50$ 毫克/米³

$M_{\text{SO}_2} = 64$ 克/摩

$$\therefore c_p = \frac{22.4}{M} \cdot c = \frac{22.4}{64} \times 0.50 = 0.175 \times 10^{-6}$$

思考与练习

0-1 什么是环境? 什么是环境问题? 在现代社会里, 每一个人都要与其他的人打交道, 即都处在一定的社会环境里。这个社会环境是否是环境化学的研究对象?

0-2 环境科学是研究什么的一门科学? 它的任务包括哪些方面?

0-3 空气中 CO_2 的含量体积分数大约是 320×10^{-6} , 合多少毫克/米³?

0-4 按照体积比例计, 在标准状况下汽车尾气中含 CO 约 1.5%, 相当于多少毫克/米³?

第一章 自然环境以及能量、物质 在自然环境中的循环

人的生存环境包括自然环境和社会环境。环境化学所研究的是自然环境中物质和能量的转化。为此,我们要了解一下地球、太阳辐射、生态学的初步概念,物质在自然界里的流动以及能量在其中的循环。

第一节 我们的家园——地球

一、概述

据科学家推测,太阳系是由宇宙中的一团星云收缩而形成。随着星云的收缩,星云中央的温度不断提高,达到了700万℃以上,发生了从氢变为氦的热核反应,释放出巨大的能量,形成了光芒四射的太阳;随着星云的收缩,星云自转的速度不断加快,处于星云赤道的部分逐步形成了一个星云盘。星云盘又逐步演变为包括地球在内的九大行星。根据对地球岩石中放射性元素的分析推测,地球形成于50亿年前。地球是由星云盘中的许多微星形成的,这些微星直径小的只有几米,大的直径也只有几千米,由于直径小,微星的引力也小,原始大气在地球上存在的时间不长即逃逸到太空中去,只有不易挥发的氧化物、硅酸盐、碳酸盐、金属留下来。地球曾经有很长时间只有很少或几乎没有大气。后来许多微星凝聚成为地球之后,地球逐渐冷却,形成了薄弱的地壳,那时不断有火山喷发,地球内部的气态物质随着