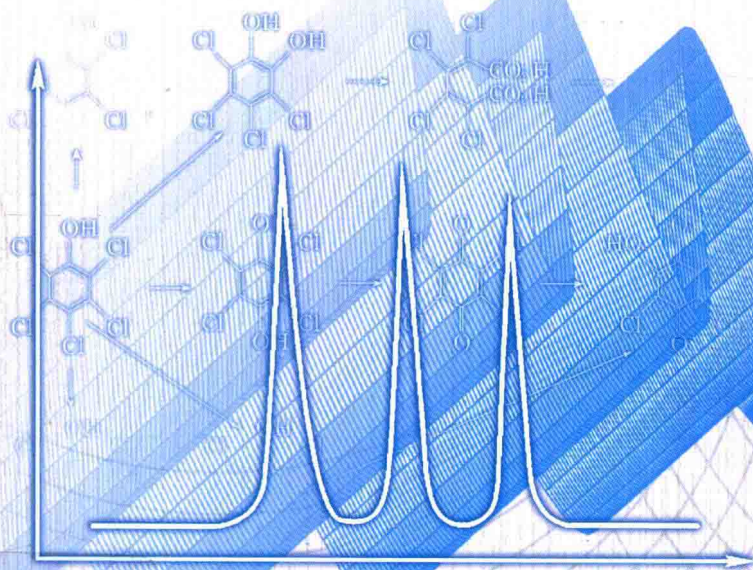




西安交通大学 本科“十二五”规划教材

环境有机化学

主编 王云海 陈庆云 赵景联



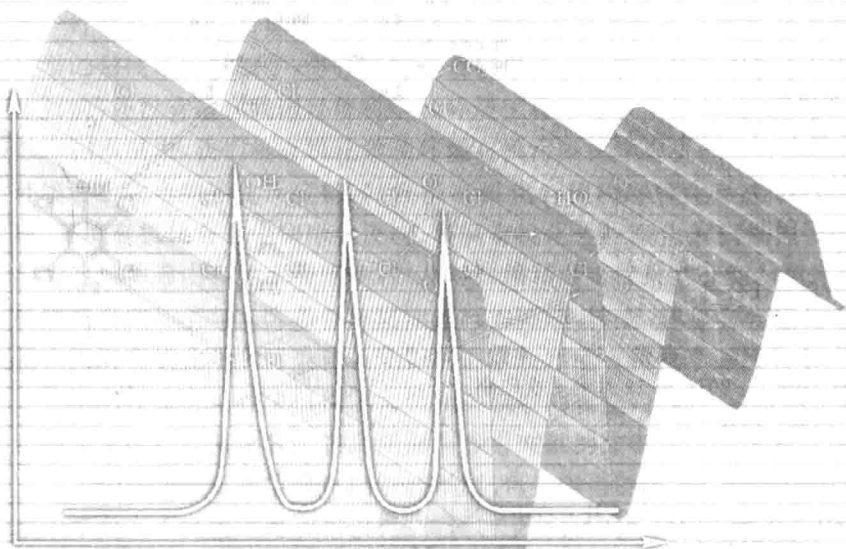
西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



西安交通大学 本科“十二五”规划教材

环境有机化学

主编 王云海 陈庆云 赵景联



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书基于环境科学和工程专业的特点,系统地阐明了环境污染及其工程处理中的有机化合物的分类、官能团、基本性质、反应原理及衍生物,探讨了有机污染物在自然环境与人为条件中可能进行的降解、转变、转移与传输过程及其最终归趋。全书广泛参考国内外有关书籍及该领域的最新进展,注重理论基础与应用技术相结合,附有多张图表和丰富的参考文献。

本书适合作为高等院校教材及教学参考书,并可供从事环境保护、环境科学、环境工程、有机化学、环境化学、应用化学以及生命科学的研究人员、工程设计人员阅读和参考。

图书在版编目(CIP)数据

环境有机化学/王云海主编. —西安:西安交通大学出版社,2015.6
ISBN 978-7-5605-7148-5

I. ①环… II. ①王… III. ①环境化学-有机化学 IV. ①X13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 054950 号

书 名 环境有机化学
主 编 王云海 陈庆云 赵景联
责任编辑 田 华
责任校对 李 文

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 陕西丰源印务有限责任公司

开 本 787mm×1 092mm 1/16 印张 30 字数 729 千字
版次印次 2015 年 12 月第 1 版 2015 年 12 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-7148-5/X·13
定 价 58.80 元

读者购书、书店添货如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82669097 QQ:8377981

读者信箱:lg_book@163.com

版权所有 侵权必究

前 言

从广义上讲,环境有机化学是主要研究与环境有关的有机分子结构性质、反应途径与机理以及结构鉴定的基础科学。从狭义上讲,环境有机化学是介于有机化学与污染化学之间的一门交叉边缘学科,主要研究有机化学物质和有机污染物质的理化性质、环境过程机制以及影响环境自然系统和工程系统中有机化学物质迁移、转化与归宿的环境因子,特别是用这些因子来定量评价有机化学物质的环境行为。从环境保护角度出发,环境有机化学主要是研究各种处理过程对有机污染物质降解与转化的能力,讨论污染物质净化理论与途径的一门学科。

环境有机化学是一门年轻的科学,迄今为止尚未有严格而公认的定义与概念。近年来,在环境科学的发展中,逐渐由有机化学、环境化学、环境微生物学和环境有机污染化学形成了环境有机化学这一个新生的交叉边缘学科,而且正在形成独立的体系。国外已相继出版了(*Environmental Aspects of Organic Chemistry* by Donald C. Wigfield, Canada: Wuerz, 1996)、(*Environmental Organic Chemistry* by Larson, John Wiley & Sons, 1997)、(*Reaction Mechanisms in Environmental Organic Chemistry* by Richard A. Larson, Eric J. Weber, Science, 1994)、(*Environmental Organic Chemistry* by ELM van Rozendaal, 2002)和(*Environmental Organic Chemistry*, 2nd Edition, by Schwarzenbach, Gschwend, and Imboden, John Wiley & Sons, 2003.)等多个版本的教材,其中 Schwarzenbach 等的著作是一本享誉欧美的环境有机化学方面的权威著作,已由王连生教授等译,化学工业出版社 2004 年出版中译本,为我国环境有机化学教学提供了优秀的教材。但这本巨著教材正如作者所述,是“为了满足各种读者的要求,使这本书对初学者和有更多专业知识的人都适合的目标编写的”,内容复杂而冗长,856 页、百余万字数的翻译稿,对我国少学时的基础课而言,不论是对教师教学还是学生学习都不是一件容易的事。目前国内这门课程的教学内容多半还是单纯从有机化学、环境化学或污染化学的角度来安排教学,尽管有的论著中也涉及一些环境有机化学问题,但仍欠全面系统。截止目前,还没有适合我国环境科学和环境工程专业教学计划的教材。

在本书中,我们将有机化学和环境有机污染化学有机地结合,通过绪论、环境有机化合物、环境有机化合物净化反应机理、环境有机化合物物理净化反应、环境有机化合物化学净化反应、环境有机化合物生物净化反应、环境有机化合物净化数值模拟、环境有机化合物监测分析与危险评估等内容的系统阐述,以及对该领域最新成果的介绍与讨论,使读者能够了解有机污染物在自然环境与人为条件下可能进行的降解、转变、转移与传输过程及其最终归趋,旨在满足人们对有机化学和污染化学知识的需求及环境有机化学课程教学之所需。

本书在编写过程中引用了大量相关领域的著作,我们尊重资料作者的工作成果,在书末列出参考文献以告知读者。在此向所引参考文献的作者致以诚挚的谢意!

由于环境有机化学是一门新兴学科,可供参考的图书资料尚比较匮乏。限于编者的水平,书中难免有不完善之处和错误,恳请读者予以批评指正。

编 者

目 录

第1章 绪论	(1)
1.1 环境概述	(1)
1.1.1 环境概述	(1)
1.1.2 大气环境	(3)
1.1.3 水环境	(5)
1.1.4 土壤环境	(6)
1.1.5 生态环境	(6)
1.2 环境有机污染概述	(8)
1.2.1 有机污染概述	(8)
1.2.2 气体有机污染	(9)
1.2.3 水体有机污染	(9)
1.2.4 霉变污染	(9)
1.2.5 环境腐殖质污染	(10)
1.2.6 优先污染物	(10)
1.2.7 持久性有机污染物	(11)
1.3 环境有机化学概述	(12)
1.3.1 有机化合物和有机化学	(12)
1.3.2 有机污染物和有机污染化学	(12)
1.3.3 环境有机化学的定义及研究内容	(13)
1.3.4 环境有机化学的研究对象与任务	(13)
1.3.5 环境有机化学的学习方法	(14)
复习题	(14)
第2章 环境有机化合物	(15)
2.1 环境有机化合物概论	(15)
2.1.1 引言	(15)
2.1.2 环境有机化合物的组成及基本概念	(15)
2.1.3 环境有机化合物的分类和命名	(23)
2.2 烃	(38)
2.2.1 烃的一般概念	(38)
2.2.2 烷烃	(38)
2.2.3 烯烃	(46)
2.2.4 炔烃	(55)
2.2.5 二烯烃	(59)
2.2.6 脂环烃	(64)

2.2.7	芳香烃	(67)
2.2.8	卤代烃	(69)
2.2.9	工业废水中的有害烃举例	(73)
2.3	含氧有机化合物	(73)
2.3.1	醇	(73)
2.3.2	酚	(80)
2.3.3	醚	(85)
2.3.4	醛和酮	(87)
2.3.5	羧酸和酯	(96)
2.3.6	碳水化合物	(100)
2.3.7	工业废水中有害含氧化合物举例	(105)
2.4	含氮有机化合物	(106)
2.4.1	含氮有机化合物的概念	(106)
2.4.2	硝基化合物	(106)
2.4.3	胺	(109)
2.4.4	腈	(114)
2.4.5	重氮和偶氮化合物	(115)
2.4.6	蛋白质	(116)
2.4.7	工业废水中有害含氮化合物举例	(119)
2.5	元素有机化合物	(121)
2.5.1	含硫有机化合物	(121)
2.5.2	含磷有机化合物	(123)
2.5.3	含砷有机化合物	(124)
2.5.4	含汞有机化合物	(126)
	复习题	(127)
第3章	环境有机化合物净化反应机理	(128)
3.1	有机化学反应分类	(128)
3.2	环境有机化合物净化反应取代基效应	(129)
3.2.1	诱导效应	(129)
3.2.2	共轭效应	(131)
3.2.3	空间效应	(134)
3.3	有机反应活性中间体	(135)
3.3.1	碳正离子	(135)
3.3.2	碳负离子	(138)
3.3.3	自由基	(141)
3.3.4	碳烯和氮烯	(144)
3.4	取代反应	(148)
3.4.1	脂肪族亲核取代反应	(148)
3.4.2	芳环上的取代反应	(152)

3.5 消去反应	(155)
3.5.1 β -消去反应	(156)
3.5.2 热消去反应	(158)
3.6 加成反应	(160)
3.6.1 亲电加成反应	(160)
3.6.2 亲核加成反应	(161)
3.6.3 羧酸及其衍生物的亲核加成反应	(162)
3.6.4 自由基加成	(162)
3.6.5 环状加成	(163)
3.7 分子重排反应	(164)
3.7.1 亲核重排	(164)
3.7.2 亲电重排	(169)
3.7.3 自由基重排	(170)
3.8 周环反应	(171)
3.8.1 分子轨道的对称性和分子轨道的对称守恒原理	(172)
3.8.2 电环化反应	(172)
3.8.3 环加成反应	(175)
3.8.4 σ 键迁移反应	(186)
复习题	(189)
第4章 环境有机化合物物理净化反应	(191)
4.1 环境有机化学分子相互作用和热力学	(191)
4.1.1 有机化合物在不同相之间的分配及分子间相互作用	(191)
4.1.2 利用热力学函数量化分子能量	(191)
4.2 环境有机化学分子蒸气压	(195)
4.2.1 理论背景	(195)
4.2.2 蒸气压-温度关系的热力学描述	(195)
4.2.3 分子相互作用和蒸气压	(197)
4.3 环境有机化合物的分配	(198)
4.3.1 分配系数与相分配	(198)
4.3.2 辛醇-水分配系数	(198)
4.3.3 有机溶剂-水分配系数	(201)
4.3.4 有机酸碱常数和分配行为	(202)
4.4 环境有机化合物的迁移	(208)
4.4.1 随机运动迁移	(208)
4.4.2 跨界迁移	(217)
4.4.3 气-水交换	(223)
4.5 环境有机化合物的溶解	(225)
4.5.1 液体有机物的溶解度和水活度系数	(225)
4.5.2 亨利定律	(233)

4.6 环境有机化合物的吸附	(233)
4.6.1 吸附过程	(233)
4.6.2 无机表面的吸附	(236)
复习题	(242)
第5章 环境有机化合物化学净化反应	(243)
5.1 环境有机化合物的转化反应热力学	(243)
5.2 环境有机化合物的水解反应	(244)
5.2.1 水解反应概述	(244)
5.2.2 水解反应机制	(246)
5.2.3 水解反应动力学	(266)
5.3 环境有机化合物的氧化反应	(267)
5.3.1 氧化反应概述	(267)
5.3.2 氧化反应机制及动力学	(268)
5.4 环境有机化合物的还原反应	(284)
5.4.1 还原反应概述	(284)
5.4.2 还原反应机制	(286)
5.4.3 还原反应动力学	(301)
5.5 环境有机化合物的光化学反应	(306)
5.5.1 光化学反应概述	(306)
5.5.2 光化学反应机制	(310)
5.5.3 光化学反应动力学	(311)
复习题	(329)
第6章 环境有机化合物的生物净化反应	(330)
6.1 环境有机化合物的生物净化概述	(330)
6.1.1 生物净化概念	(330)
6.1.2 生物净化特点	(330)
6.1.3 生物净化发展趋势	(332)
6.2 环境有机化合物的生物净化类型	(332)
6.2.1 环境生态系统净化	(332)
6.2.2 环境生物处理净化	(335)
6.3 环境有机化合物的生物净化原理	(353)
6.3.1 生物降解与转化	(353)
6.3.2 水环境有机化合物生物处理净化原理	(358)
6.3.3 环境有机化合物生物降解动力学	(376)
6.4 典型有害有机污染物的生物净化机理	(379)
6.4.1 卤代烃类降解	(379)
6.4.2 农药类降解	(385)
6.4.3 合成洗涤剂降解	(386)

6.4.4 酚类化合物降解	(388)
6.4.5 石油烃类降解	(389)
复习题	(395)
第7章 环境有机化合物净化模型	(397)
7.1 气-水交换模型	(397)
7.1.1 气-水交换模型概述	(397)
7.1.2 停滞水体的气-水交换模型	(399)
7.1.3 流动水体的气-水交换模型	(400)
7.2 室模型	(402)
7.2.1 一室模型	(402)
7.2.2 二室模型	(404)
7.3 时空模型	(408)
7.3.1 一维扩散	(409)
7.3.2 湍流模型	(411)
7.3.3 水平扩散	(415)
复习题	(416)
第8章 环境有机化合物的监测分析与危险评估	(418)
8.1 环境有机化学污染物质的综合指标分析	(418)
8.1.1 环境水体氧状况分析	(418)
8.1.2 水体营养状况分析	(420)
8.1.3 有机污染物的常规分析	(423)
8.1.4 环境样品的富集与常规分离	(429)
8.2 环境有机污染物的色谱分析	(442)
8.2.1 有机污染物的气相色谱分析	(442)
8.2.2 有机污染物的液相色谱分析	(446)
8.2.3 离子色谱分析	(448)
8.3 环境有机污染物的鉴定分析	(449)
8.3.1 红外吸收光谱分析	(449)
8.3.2 核磁共振波谱分析	(451)
8.3.3 质谱分析	(452)
8.4 环境有机污染物的危险评估	(454)
8.4.1 风险评价概述	(454)
8.4.2 暴露评价	(455)
8.4.3 效应评价	(460)
8.4.4 风险表征	(462)
复习题	(465)
参考文献	(466)

第 1 章 绪 论

1.1 环境概述

1.1.1 环境概述

人们对环境的认识是不断发展变化的。20 世纪五、六十年代,人类意识到对自然环境的破坏将产生非常严重的后果;20 世纪八十年代开始,人们逐渐认识到环境的资源功能的重要性,人们开始认识到环境价值的存在;到 20 世纪九十年代,环境资源的价值性研究成为环境科学的研究热点之一,这是现代环境科学形成的一个重要标志。它的意义首先在于,人们承认了环境资源并非是取之不尽、用之不竭的,从而有助于逐步树立珍惜环境资源的意识,也促进了科学技术的发展;其二,逐渐认识到了良好的生态环境是社会经济可持续发展的必要条件,从而增强了环境保护的意识。这些认识都极大地促进了现代环境科学学科的发展。

对于环境科学而言,“环境”的定义是“以人类社会为主体的外部世界的总体”。这里外部世界指的主要是:人类已经认识到的,能直接或间接影响人类生存与社会发展的周围事物。它既包括未经人类改造的自然界的众多要素,如阳光、空气、陆地(山地、平原、沼泽、戈壁等)、水体(河流、湖泊、海洋等)、天然森林和草原、野生生物等;又包括已经经过了人类社会加工改造的自然界,如城市、村落、水库、港口码头、公路、铁路、机场、园林等。它既包括这些物质性的要素,又包括由这些物质性要素所构成的系统及该系统所呈现出来的状态。

第一,环境科学领域的环境具有一定的功能性。首先环境具有为人类的生存提供所需的资源的功能。如岩石圈中地表的土壤层为人类所需的食物生产提供了农作物生长所需的条件,另一方面又为人类提供了大量的矿产资源;生物圈的生物多样性不仅保护着人类生存环境,同时也可以提供人类所需的食物、药材和大量的工业原料;水是人类生存的一种必需资源,洁净的空气也是宝贵的资源,等等。其次,在一定的时空尺度范围内,环境通过自身的调节作用,使系统的输入和输出相等,达到一种动态的环境平衡或生态平衡,使环境仍具有各项完整的功能,所以环境具有一定的调节功能。第三,环境也具有一定的服务功能。实际上,自然资源和自然生态环境的具体体现形式是各类生态系统,它们都是生命的支持系统,如森林、草地、海洋、河流、湖泊等。它们对人类的贡献不仅仅在于可以提供大量的食物、药材、各类生产和生活资料,同时还在为人类提供着许多服务,如调节气候、净化环境、减缓灾害,为人们提供休闲娱乐的场所,等等。第四,环境具有文化的功能,人类的文化、艺术素质等是对自然环境生态美的感受和反应,是环境使人类在群体上和人格上得到发展与升华。而各地域独特的自然环境塑造了各地域民族的特定性格、习俗和民族文化。优美的自然环境又是艺术家们开展艺术创作的源泉,蕴含着科学和艺术的真谛,给人类无穷无尽的文化艺术和科学灵感,这就是环境的整体文化功能最本质的概况。

第二,环境科学领域的环境具有一定的整体性,环境的各要素之间存在着紧密的相互联系、相互制约。局部地区的污染或破坏,总会对其它地区造成影响和危害。其次,环境资源是有限的。环境中的自然资源通常可分为不可再生资源 and 可再生资源两大类,前者指一些矿产资源等,这类资源随着人类的开采其储量不断减少。生物属可再生资源,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并保证生存环境不被破坏,就可以源源不断地向人类提供鱼类等各种水产品。但由于受各种因素(如生存条件、繁衍速度、人类获取的强度等)的制约,在具体时空范围内,各类资源都不可能是无限的。

第三,环境科学领域的环境具有区域性,这也是自然环境的基本特征。由于纬度的差异,地球接受到的太阳辐射也不同,形成了不同的气候带。即便是同一纬度,因地形地貌的不同,也会出现地带性差异。一般说来,距海平面一定高度内,地形每升高 100 m,气温下降 $0.5 \sim 0.6^{\circ}\text{C}$ 。地带性差异也随着地球经度发生变化,这是由地球内在因素造成的,如受海、陆分布格局和大气环流特点的影响。

第四,环境具有变动性和稳定性。环境的变动性是指环境要素的状态和功能始终是处于不断的发展变化中的。环境的稳定性就是环境系统对一定强度范围内的干扰的自我调节能力,使环境在结构或功能上基本无变化或变化后得以恢复。环境的稳定性和变动性是相辅相成的,变动是绝对的,稳定是相对的。

第五,环境的危害作用具有时滞性特点。自然环境一旦被破坏或被污染,许多影响的后果是潜在的和深远的。

环境科学领域的环境通常是由各个独立的、性质不同而又服从总体演化规律的基本物质组分构成的,这些基本物质组分称为环境要素,亦可称为环境基质。环境要素又分为自然环境要素和社会环境要素,研究较多的是自然环境要素。自然环境要素主要包括水、大气、生物、土壤、岩石和阳光等要素,由它们组成环境的结构单元,环境的结构单元组成环境整体或环境系统。如由大气组成气层,全部气层总称为大气圈;由水组成水体,全部水体总称为水圈;由生物体组成生物群落,全部生物群落称为生物圈;由土壤构成农田、草地和林地等,由岩石构成岩体,全部土壤和岩石构成固体壳层-岩石圈或土壤-岩石圈。

各环境要素的相互配置关系称为环境结构。环境结构表示环境要素是怎样结合成一个整体的。环境的内部结构和相互作用直接制约着环境的物质交换和能量流动。人类赖以生存的环境包括自然环境和社会环境两大部分,各自具有不同的结构和特点。自然环境一方面由空气、水、土壤、阳光和各种矿物质资源等非生物因素所组成,一切生物离开了它就不能生存。另一方面,自然环境除上述的非生物因素以外,还有动物、植物和微生物等生物因素。目前人类活动的自然环境即生物圈,主要限于地壳表层和围绕它的大气层的一部分,一般包括海平面以下约 12 km 到海平面以上约 10 km 的范围。目前环境科学研究主要集中于自然环境中的生物圈这一层。社会环境是指人类长期生产生活活动的结果,人类社会在长期的发展过程中,不断地提高科学技术和物质文化生活水平,并创造了城市、工矿区、村落、道路、农田、牧场、林场、港口、旅游胜地等人工环境因素,形成了人类的社会环境。

地球表面各种环境要素或环境结构及其相互关系的总和称为环境系统。环境系统概念的提出,是把环境作为一个统一的整体看待,避免人为地把环境分割为互不相关、支离破碎的各个组成部分。环境系统的内在本质在于各种环境要素之间的相互关系和相互作用过程。揭示这种本质,对于研究和解决当前许多环境问题有重大的意义。

1.1.2 大气环境

大气环境是指地球表面随着地球一起旋转的大气层这一环境要素以及大气层中的物质交换和能量流动等对人类生产、生活产生影响的因素的总和。在自然地理学上,大气层也叫做大气圈。但大气圈中的空气密度分布并不是均匀的,通常海平面上的空气密度最大,陆地相对较小,而近地层的空气密度则随高度上升而逐渐减小。其次,温度随大气层高度而发生规律性变化是地球大气圈另一个最显著的特征。通常根据大气温度随高度垂直变化的特征,可以将地球表面大气层分为对流层、平流层、中间层、电离层和散逸层。大气的垂直分层如图 1-1 所示。

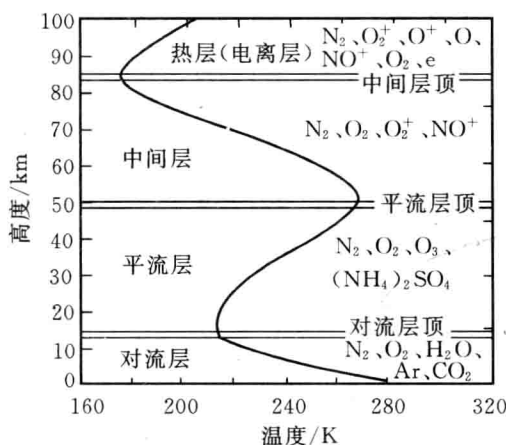


图 1-1 大气的垂直分层

1. 对流层

对流层是大气圈的最低层,紧挨着地球表面,对流层厚度随纬度和季节而发生变化,平均为 12 km,整个大气圈的质量约有 80%~95%来自对流层。在对流层大气温度随大气层高度增加而递减,平均每上升 100 m 降温 0.65℃。在对流层,大气对流运动强烈,云、雾、雨、雪、风等主要天气现象都发生在这一层,同时对流层受地球表面状况和人为活动影响最为显著,大气的温度、湿度等气象要素水平分布差异大,从而形成不同的大气环境和发生各种大气环境污染现象。

在对流层和平流层之间,有一个厚度为数百米到 1~2 km 的过渡层,称为对流层顶。这一层的主要特征是温度随高度增加降低很慢或是几乎恒温。实际工作中往往根据这种温度变化的起始高度来确定对流层顶的位置。对流层顶对垂直气流有很大的阻挡作用,上升的水汽、尘埃多聚集其下,使得那里的能见度往往变坏。

2. 平流层

从对流层顶到距地面 50 km 左右这一空气层称为平流层。它的主要特征是大气温度先随高度升高而缓慢升高,从 30~35 km 起,温度随高度增加而升温迅速;其次,大气多作平流运动,整个大气层运动比较平稳;第三,水汽和尘埃的含量很少,云也很少。从对流层顶向上臭氧

量开始增加,至 22~25 km 附近臭氧浓度达极大值,然后减少,到 50 km 处臭氧量就极微了,因此主要的臭氧层均包含在平流层内。

3. 中间层

自距地面 50 km 到距地面 85 km 左右这一大气层称为中间层。在中间层,大气温度随高度升高而迅速降低,中间层顶温度下降至约 -100°C 附近时,再次出现了空气的对流运动。

4. 电离层和散逸层

从中间层顶至距地面 800 km 高度这一大气层称为电离层,此层的大气温度随高度升高而迅速升高,大气处于高度电离状态,能够反射无线电波。距地面高度 800 km 以上的大气层,统称为散逸层,它是大气层向星际空间的过渡地带。此层空气极其稀薄,气温很高,并随高度增加而持续升高,地球引力作用已经很小,空气质点经常散逸至星际空间。电离层和散逸层也称为非均质层,在此以外就是宇宙空间。

人类生存环境里的大气组成成分包括湿度、二氧化碳及其它气体成分往往是随着时空的改变而发生变化的,为了研究的方便,人们便定义了干洁空气。通常情况下,自然状态下的大气由干洁空气、水蒸气和悬浮微粒三部分组成,在 85 km 以下的低层大气中,干洁空气的组成基本上是不变的,主要成分是氮(N_2)、氧(O_2)和氩(Ar),它们占空气总容积的百分数分别为 78.09%,20.95%,0.93%,三者合计占干洁空气总体积的 99.97% 以上,其它还有少量的二氧化碳、氢、氦、氖、氙、臭氧等,总和不超过 0.03%。干洁空气的组成如表 1-1 所示。

表 1-1 干洁空气的组成

气体	体积百分数(%)	气体	体积百分数(%)
氮(N_2)	78.09	臭氧(O_3)	0.000001
氧(O_2)	20.95	氦(He)	0.0018
氩(Ar)	0.93	氖(Ne)	0.0005
二氧化碳(CO_2)	0.03	氙(Kr)	0.0001

在距地面 85 km 以上的大气中,主要成分仍然是氮和氧。但是,由于太阳紫外线的强烈辐照,氮分子和氧分子将产生不同程度的解离。在距地面 100 km 以上,氧分子几乎已经全部解离为氧原子。

大气中的二氧化碳、水汽、微量有害气体和固体杂质的含量通常是变化的。其中,二氧化碳作为一种主要的温室气体,主要来自生物的呼吸作用、有机体的分解、化石燃料的燃烧等。由于地面状况和人类活动影响的不同,近地层大气中二氧化碳的浓度在不同地区变化很大,一般大气中二氧化碳的含量约是 0.03%,而城市大气中二氧化碳含量可能超过 0.06%。

臭氧通常是由氧分子解离为氧原子,氧原子再与另外的氧分子结合而成的一种无色、有鱼腥味的无色气体。平流层臭氧能大量吸收太阳紫外线,一方面使近地层生物免受其损害,保护着地球生态系统;同时可以使平流层增暖。但在近地面的对流层中,臭氧往往可以作为光化学烟雾发生的标志,即发生光化学烟雾的大气污染事件时,臭氧浓度会异常上升。

水汽主要来自海洋和地面水的蒸发与植物蒸腾。在对流层大气中水汽与凝结核可凝结为水珠和冰晶,从而形成云、雾、雨、雪等多种大气现象。随着地面状况的不同,大气中的水汽含量在 0.01%~4% 之间变化,大气中水汽含量及其变化对生物的生长和发育有重大影响,对水

汽输运及水循环也均有重大意义。

大气中除气体成分外,还有很多液体、固体杂质和微粒。液体杂质和微粒是指悬浮于大气中的液滴,过冷水滴和冰晶等液态凝结物。固体杂质和微粒主要来源于火山爆发、尘沙飞扬、物质燃烧的颗粒、宇宙物落入大气和海水溅沫、蒸发等散发的烟粒、尘埃、盐粒和冰晶,还有细菌、微生物、植物的孢子花粉等。大气中的悬浮微粒增加会影响太阳辐射和地表热量的散失,从而对大气的温度和能见度产生影响,部分悬浮微粒也会对人体健康和动植物生长等直接产生影响。

1.1.3 水环境

人类社会的外部世界里的所有水资源构成了水环境。水是人类赖以生存的最基本的物质基础,是人类维持生命和发展经济不可缺少的自然资源,也是世界上最普遍的物质之一。尽管地球上总的水储量非常大,但人类可以利用的部分却非常小。地球上总储水量约有 14.1 亿立方千米,其中只有 2% 是淡水,而这部分淡水中有 87% 是人类难以利用的两极冰盖、高山冰川、深层地下水和永冻地带的冰雪。人类真正能够利用的是江河湖泊以及部分浅层地下水,约占地球总水量的 0.26%。因此水资源通常也指人类真正能够利用的淡水资源,即大陆上由大气降水补给的各种地表、地下淡水的储存量和动态水量。地表水包括了河流、湖泊、冰川等,其动态水量为河流径流量,所以地表水资源由地表水体的储存量和河流径流量组成。地下水的动态水量为降水渗入和地表水渗入补给的水量,即由地下水的储存量和地下水的补给量组成。

通常来说,水是一种可再生的自然资源。但地球上的水资源在时空上分布极不均匀,人口增长和经济发展所导致的人均和总用水量的增加,加上人类的不合理利用而导致的淡水资源污染,使世界上许多地区面临着严重的水资源危机。目前,水资源短缺和水环境污染造成的水危机已经严重制约了各国的经济发展,促使人类懂得环境与发展的正确关系,并开始采用保护和利用相协调的水资源开发利用模式——通过废水净化和水体保护,使水资源不受到破坏并能进入良性的再生循环。为了彰显水资源的重要性并推动水资源保护,1993 年第 47 届联合国大会做出决定,自 1993 年起,每年的 3 月 22 日定为“世界水日”,用以宣传教育并提高公众对开发和保护水资源的认识,推动对水资源进行综合性统筹规划和管理,加强水资源保护,解决日益严峻的水资源危机问题。

我国的水资源状况也不容乐观。首先,水污染状况严重,江河湖泊普遍遭受污染。2003 年报告显示,全国七大江河水系(长江、黄河、珠江、淮河、海滦河、大辽河和松花江)741 个监测断面中,41% 的监测断面水质劣于 V 类标准,全国 75% 的湖泊出现不同程度的富营养化,尽管近些年来通过大力投入水体污染治理,使水体环境有所改善,但整体形势仍然严峻。其次,生态用水缺乏,辽河、淮河、黄河等地表水资源利用率已远远超过国际上公认的 40% 的河流开发利用上限,海河水资源开发利用更接近 90%,生态功能几近丧失。再次,城市垃圾的无害化处理率不足 20%,垃圾的无序填埋、堆放加剧了地下水源受污染的程度。据分析,水资源紧缺已经成为我国突出的重大环境问题,目前全国 660 座城市中有 400 多座缺水城市,其中 110 座严重缺水,日缺水量达 $16 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。我国由于缺水和水污染给经济发展、城乡建设和人民身体健康带来了极大危害,同时我国的水资源浪费严重,总体水的利用效率低下,单位国内生产总值的耗水量为世界平均水平的 5 倍;城镇供水管网漏失率达 20% 左右,每年损失的自来水近 100 亿立方米;农村灌溉水渠大部分为土渠,防渗性能差,水的利用系数仅为 40% (发

家已达 80%)；不少工业企业耗水量大,但水的重复利用率却不足 50%，这更加剧了我国的水资源危机,也显示出我国加强水资源的保护和利用开发仍具有巨大的发展潜力。

1.1.4 土壤环境

土壤是人类及众多其它生物赖以生存的场所,也是人类生存和发展的最基本的自然资源之一。土壤通常由固态岩石经风化而成,是一个以固相为主的固、液、气不匀质多相体系。土壤固相包括土壤矿物质和土壤有机质。土壤矿物质占土壤固相总重的 90% 以上。土壤有机质约占固相总重的 1%~10%，一般可耕性土壤中有有机质含量占土壤固相总重的 5%，且绝大部分在土壤表层。土壤液相是指土壤中的水分及其水溶物。土壤气相指土壤孔隙所存在的多种气体的混合物。典型的土壤约有 35% 的体积是充满空气的孔隙,此外,土壤中还有数量众多的植物、微生物和土壤动物等。

土壤的上述结构特征和土壤中含有的大量的无机、有机和无机-有机复合的化学物质及大量的生物和生物活性物质,使土壤具有特殊的吸附性、酸碱性、氧化-还原性和生物活性,影响着土壤环境的物理、化学和生物化学的过程、特征和结果。这些性质使土壤环境单元具有一定的自净能力,使之能够承纳一定的污染物质负荷。土壤环境的自净作用是指在自然因素作用下,通过土壤自身的作用,使污染物在土壤环境中的数量、浓度或毒性、活性降低的过程。按照不同的作用机理通常可将土壤自净作用划分为物理净化作用、物理化学净化作用、化学净化作用和生物净化作用等四个方面。这四种自净作用过程通常是相互交错的,其强度共同构成了土壤环境容量的基础。土壤环境容量是指一定土壤环境单元,在一定范围内遵循环境质量标准,既维持土壤生态系统的正常结构与功能,又不使环境系统污染超过土壤环境所能容纳污染物的最大负荷值。

土壤环境好坏的评价通常以土壤环境背景值为参照,土壤环境背景值即指土壤环境在未受或较少受人类活动(特别是人为污染)影响条件下本身的化学元素组成及其含量。土壤环境背景值是代表土壤环境发展的一个历史阶段的相对数值。土壤环境背景值受人类活动的综合影响,及风化、淋溶和沉积等地球化学作用的影响和生物小循环的影响及母质成因、地质和有机质含量等影响,所以土壤的背景值含量有一个较大的变化幅度,不仅不同类型的土壤之间不同,同一类型土壤之间相差也很大。

1.1.5 生态环境

生态环境就是“由生态关系组成的环境”的简称,是指与人类密切相关的、影响人类生活和生产活动的各种自然(包括人工干预下形成的第二自然)力量(物质和能量)或作用的总和。它不仅包括各种自然要素的组合,还包括人类与自然要素间相互形成的各种生态关系的组合。生态系统是其中的核心,生态系统指由生物群落与无机环境构成的统一整体。生态系统的范围可大可小,相互交错,最大的生态系统是生物圈;最为复杂的生态系统是热带雨林生态系统,人类主要生活在以城市和农田为主的人工生态系统中。生态系统通常由两大部分(即非生物部分和生物部分)组成,这两大部分又由四个基本成分构成,这四个基本成分如下。

①非生物环境(abiotic components):通常包括气候因子和营养因子。气候因子指光照、热量、降水、温度、空气等和气候有关的因素;营养因子指为生命提供赖以生存的介质和物质代谢原料如无机物质(如 C、H、O、N 及矿物盐分等)和有机物质(如糖、蛋白质、脂类及腐殖质)

等。非生物环境是生物生活的场所,是生物物质和能量的源泉,是生命的支持系统。

②生产者(producers):指生物成分中能直接利用太阳能等能源并将简单无机物转化为复杂有机物的自养生物,如陆生的各种植物,水生的高等植物和藻类,还包括一些光合细菌和化能细菌。生产者是生态系统中将光能转化为化学能的最积极的因素,是地球上一切生物的食物来源,是生态系统的能量基础,在生态系统的能量流动和物质循环中居于重要地位。

③消费者(consumers):是以自养生物或其它生物为食而获得生存能量的异养生物,主要是各类动物。它们不能直接利用太阳能,只能直接或间接地以绿色植物为食,并从中获得能量。消费者在生态系统中起着重要作用。不仅对初级生产者起着加工、再生产的作用,而且许多消费者对其它生物种群数量起着调控作用。消费者根据不同的取食地位,通常又可分为以下三种。

一级消费者:直接依赖生产者为生,包括所有食草动物,如牛、马、兔、池塘中的草鱼以及许多陆生昆虫等。这些食草动物又称为初级消费者。

二级消费者:以一级消费者为食,是捕杀草食动物的食肉动物,如食昆虫的鸟类、青蛙、蜘蛛、蛇和狐狸等,这些食肉动物又可统称为次级消费者。

三级消费者:是猎食食肉动物的捕食者。

但消费者中最常见的还有杂食性消费者,如池塘中的鲤鱼,大型兽类中的熊等。他们的食性很杂,食物成分季节性变化大,在生态系统中,正是杂食性消费者的这种营养特点构成了极其复杂的营养网络关系。

此外,生态系统中还有两类特殊的消费者,一类是腐食消费者,他们是以动植物尸体为食,如白蚁、蚯蚓、兀鹰等;另一类是寄生生物,他们寄生于活着的动植物体表或体内,靠吸收寄主养分为生,如虱子、蛔虫、线虫和寄生菌类等。

④分解者(decomposers):亦称还原者。这类生物也属异养生物,故又称小型消费者,包括细菌、真菌和原生动物。他们在生态系统中的重要作用是把复杂的有机物分解为简单的无机物,归还到环境中供生产者重新使用。

生态系统的组成和相互关系可以总结为如图 1-2 所示。

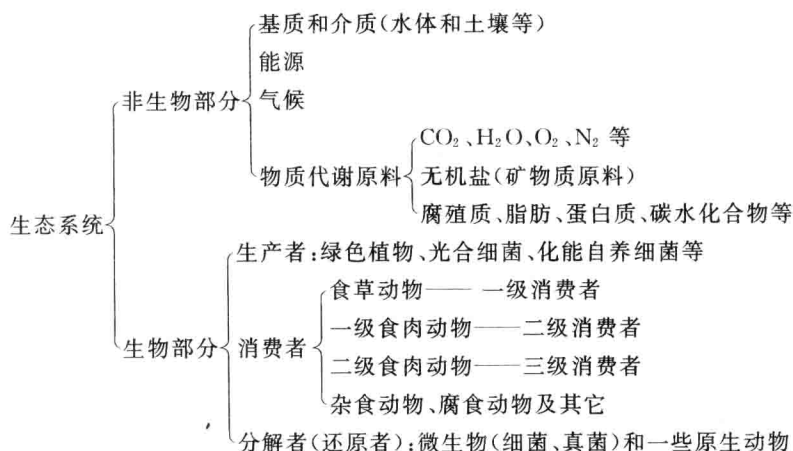


图 1-2 生态系统的组成

1.2 环境有机污染概述

1.2.1 有机污染概述

所谓有机污染是指由有机化合物进入环境而带来的环境污染问题。而造成有机污染的有机物通常称为有机污染物。按照《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》界定,可将有机污染物分为持久性有机污染物(persistent organic pollutants, POPs)和其它有机污染物,基本类别如图 1-3 所示。持久性有机污染物又可根据来源分为目标性工业有机化学品和非目标性有机污染物。前者如有机氯农药(organic chlorinated pesticides, OCPs)、多氯联苯(polychlorinated biphenyls, PCBs)、多溴联苯醚(poly brominated diphenyl ethers, PBDEs),其中 PBDEs 为工业生产的阻燃剂;后者如二噁英(dioxins)和呋喃(furans),主要从塑料燃烧过程中产生。其它有机污染物包括自然有机污染物和新兴有机污染物,前者如萜烯类、黄曲霉毒素、氨基甲酸乙酯、黄樟素等,主要来源于自然界生物新陈代谢以及其它生化过程;后者则是人工合成的各类化学品,如个人护理品、药品等。

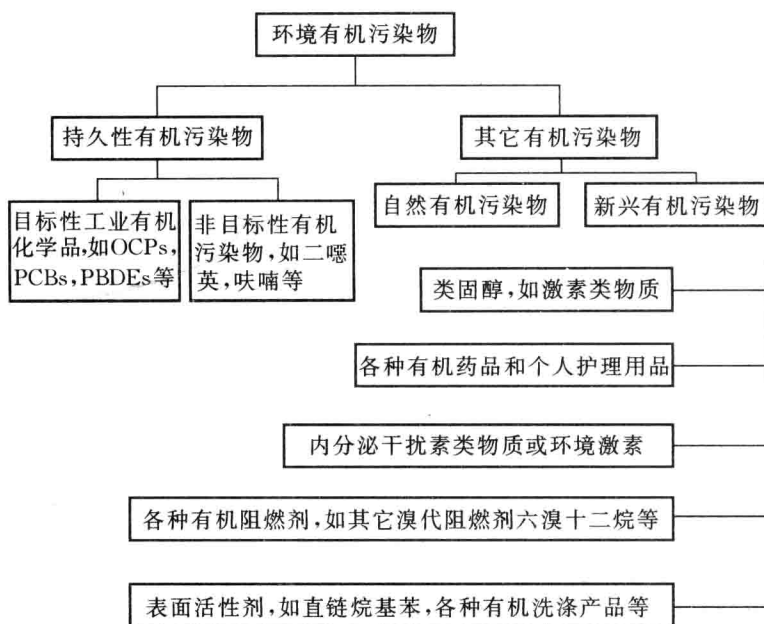


图 1-3 环境有机污染物的基本类别

在人类社会现代化进程中,越来越多的化学物质被不断开发和使用,其中既有自然界原有的化学物质,也有人工合成的化学物质。这些化学品的广泛使用,在促进人类社会的发展、提高人类生活质量的同时,也给人类带来意想不到的问题:大量化学品的使用及其随后的不当处置,使其成为环境污染物。在全球工业化进程的 100 多年中,难以计量的天然或人工合成化学物质被释放到地球环境中,严重污染了人类赖以生存的大气、土壤、水体等各种自然环境介质。这些污染物进一步通过呼吸、皮肤接触、食物链等各种途径进入人体,给人类健康带来潜在的不良影响。