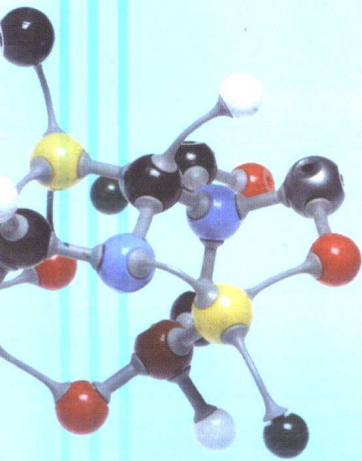


高等学校教材

环境化学

● 刘 绮 主编



化学工业出版社

教材出版中心

高等学校教材

环境化学

刘 绮 主编



化学工业出版社

教材出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

环境化学/刘绮主编. —北京: 化学工业出版社,
2004.7
高等学校教材
ISBN 7-5025-5022-4

I. 环… II. 刘… 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 (2004) 第 062729 号

高等学校教材

环 境 化 学

刘 绮 主 编

责任编辑: 唐旭华 满悦芝

责任校对: 郑 捷

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 21 字数 510 千字

2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5022-4/G · 1331

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

我国环境保护事业发展至今，其规划已经从经济制约型向环境-经济协调型过渡；污染控制已经从简单的单项治理转化为高层次的系统化管理。当前多方面的污染问题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，已是环境科学工作者的一个重要职责。

《环境化学》是环境工程专业与环境科学专业的一门主干专业课，本书是在总结编者多年的教学经验的基础上编写的，本书具有如下特点：

1. 全书主要介绍环境化学在环境科学中和解决环境问题上的地位与作用，其研究内容、特点与发展动向以及主要污染物的类别和它们在各圈层中的迁移转化过程；
2. 全书较系统地介绍了环境化学这门学科的概貌与发展过程；
3. 全书按水环境化学、大气环境化学、土壤环境化学、重点污染物圈层化学等分别介绍，又根据我国目前环境保护工作中急需解决的问题，给出“面源污染及控制”、“湿地资源的保护对策”等环境化学专题；
4. 目前国际上十分重视环境优先污染物的优先监测、特别是优先有机污染物的监测，本书中加强了对环境优先污染物之优先有机污染物的有关机理与技术的论述；
5. 近年来环境化学模拟实验技术有较大的发展，本书给出相关的模拟实验。

全书分绪论、天然水的基本特性与水污染、水环境化学、天然大气环境和性质、大气环境化学、土壤环境化学、污染生态学、典型污染物的特性及其迁移转化、有害废物及放射性固体、其他环境化学专题、环境化学研究中的实验室模拟方法和实验。

本书可供高等学校环境工程专业、环境科学专业本科生与研究生作教学用书，也可供各类环境科学工作者参考使用。

本书由华南理工大学刘绮主编，梁惠枫、梁松筠、陈惠中、赵昕、刘玉机、夏虹、郝海生、刘少龙、黄庆华、甘海录、张佳扬、罗建明参加了编写工作，化学工业出版社教材出版中心的相关编辑为本书的出版做了大量工作，在此一并致谢。

限于编者水平，书中错误与不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2004年6月于广州

内 容 提 要

环境化学是环境工程专业、环境科学专业的一门专业主干课，本书是在总结编者多年教学经验的基础上编写的。全书体系以环境化学的理论、方法和技术为主线，各章密切结合环境化学的应用，力求体现理论与实践相结合，方法技术与案例相结合。全书共十一章，系统而详细地讨论了环境化学的形成及其内容与研究方法，水环境化学、大气环境化学、土壤环境化学、污染生态化学、典型污染物的迁移转化、有害废物及放射性固体等内容；结合我国环境工程与环境科学领域面临急需解决的面源污染与控制、湿地资源利用与保护、地下水污染与控制等问题的具体状况给出环境化学专题的阐述。书末还给出环境化学模拟实验研究的典型案例。

本书可供环境科学、环境工程专业本科及研究生作为教学用书，也可供各类环境科学工作者参考使用。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 环境化学的形成	1
一、环境问题	1
二、环境污染物及其环境行为与危害	3
第二节 环境化学的定义、内容与研究方法	14
一、环境化学的任务及研究内容	14
二、大气、水体、土壤环境化学的研究方法	16
第三节 环境化学的几个基本概念和单位	16
一、常见的基本概念	16
二、常用的单位与代号	19
习题	20
第二章 天然水的基本特性与水污染	21
第一节 水圈、水的特性和水分子结构	21
一、水圈	21
二、天然水概况	22
三、水的特性与水分子结构	23
第二节 天然水的组成与性质	25
一、天然水的组成	25
二、主要阳离子	27
三、主要阴离子	28
四、藻类	28
五、细菌等其他微生物	29
六、水中溶解性气体	29
七、天然水的酸碱化学平衡	30
八、天然水的硬度	35
九、缓冲能力	36
第三节 水体污染物	36
一、有机污染物	36
二、无机污染物	36
三、放射性污染物	38
四、水体中富营养物质	38
五、病原微生物污染	39
六、热污染	39
七、硬水污染	39

八、生活污水中的主要污染物	40
第四节 水质标准、水质指标与水质分析	40
一、水质标准	40
二、水质指标	42
三、地面水项目分析方法	43
习题	44
第三章 水环境化学	46
第一节 水环境中的沉积作用	46
一、化学沉淀	46
二、胶体颗粒的凝聚沉降	46
三、重力沉降	49
第二节 水环境中的吸附作用	49
一、吸附现象及其类别	49
二、吸附等温线	50
三、水环境中胶体对重金属离子的吸附作用	51
第三节 氧化还原作用	54
一、环境物质的氧化还原反应特点	54
二、 pE 和 E 关系	55
三、重金属化合物形态与体系的 pE - pH 图及决定电势	56
四、水体中无机态氮的转化	60
五、水体中有机物的氧化还原作用	61
第四节 水环境中配位体对重金属的配合作用	63
一、水环境中的无机配位体对重金属的配合作用	64
二、水环境中的有机配位体对重金属的配合作用	65
第五节 水解作用	67
一、有机化合物的水解平衡及其动力学原理	67
二、影响水解速率的因素	68
第六节 光解作用	69
第七节 重金属的甲基化作用	71
第八节 生物转化作用	71
第九节 有机物在水-固体系中的分配作用	72
一、分配理论	72
二、分配系数	72
三、标化分配系数	73
四、颗粒物大小对分配系数的影响	73
五、辛醇-水分配系数与分配系数的关系	73
六、生物浓缩因子	75
第十节 挥发作用	75
一、挥发速率	76
二、挥发作用的双膜理论	76

三、挥发作用的半衰期	77
第十一节 水处理方法概要	77
一、给水处理与废水处理间的界限变化过程	77
二、水处理的目的是与方法分类	78
第十二节 水质模型	81
一、河流水质模型	81
二、湖泊富营养化预测模型	87
三、有毒有机污染物的归趋模型	89
习题	91
第四章 天然大气环境和性质	93
第一节 大气层的结构和性质	93
一、大气的组成	93
二、大气组分浓度表示法	93
三、大气层垂直结构	94
四、大气稳定度与污染物扩散关系	95
五、近地层空气的物理性质	97
六、按地理条件划分区域	97
第二节 大气中重要的自由基	97
一、自由基的特点	97
二、重要自由基的来源	98
第三节 光化学反应基础	99
一、光化学定律	99
二、初级光化学过程的主要类型	100
习题	102
第五章 大气环境化学	103
第一节 大气污染	103
一、大气污染源分类	103
二、大气污染物及其分类	104
第二节 氮氧化物的转化	106
一、NO ₂ 的转化	106
二、NO 的转化	107
第三节 硫氧化物的转化与酸性降水	107
一、SO ₂ 的气相氧化	108
二、SO ₂ 的液相氧化	109
三、酸性降水	109
第四节 硫酸型烟雾与光化学烟雾	112
一、硫酸型烟雾	112
二、光化学烟雾	112
第五节 臭氧层空洞	117

一、臭氧 (O ₃)	117
二、臭氧层形成与耗损的化学反应	118
第六节 大气其他环境化学专题之温室效应	120
一、温室气体	120
二、温室效应的控制措施	123
习题	133
第六章 土壤环境化学	134
第一节 土壤的形成及其环境意义	134
一、土壤的形成	134
二、土壤的环境机能	135
第二节 土壤的组成	136
一、土壤层次	137
二、土壤矿物质及其粒级划分	138
三、土壤有机质	143
四、土壤生物	146
五、土壤水	147
六、土壤空气	148
第三节 土壤的性质	149
一、土壤的吸附性	149
二、土壤的酸碱性	151
三、土壤的氧化还原性	155
第四节 土壤污染	157
一、土壤污染源	157
二、土壤污染物	158
三、土壤环境质量	159
四、土壤背景值	160
五、评价模式与指数分级	164
六、土壤环境容量	165
第五节 污染物在土壤-植物体系中的迁移机制	167
一、土壤-植物系统污染生态学特征及指标	167
二、土壤-植物系统中重金属的归趋	168
三、重金属对土壤微生物的毒性	171
第六节 农药在土壤中的迁移转化	173
一、农药在土壤中的浓度估算	174
二、农药在土壤环境中的扩散行为	176
三、非离子型农药与土壤有机质的作用	181
四、农药对土壤微生物的生态效应	183
五、农药残留	186
第七节 土壤的自净作用与污染防治的非生物方法	187
一、土壤的自净作用	187

二、土壤的污染防治方法	188
第八节 土壤污染的微生物修复技术	188
一、原位生物修复	188
二、异地生物修复	189
习题	190
第七章 污染生态化学	191
第一节 污染物质在机体内的运转	191
一、暴露途径	191
二、污染物质进入动物体的途径	192
三、污染物在动物体内的分布	194
四、污染物在动物体内的转化反应类型	195
五、排泄	196
六、蓄积	197
第二节 生物膜的透过机理	198
一、生物膜的结构	198
二、生物膜的透过机理	198
第三节 污染物质的生物浓缩、放大和积累	199
一、污染物的生物浓缩	199
二、污染物的生物放大	202
三、污染物的生物积累	204
第四节 污染物的生物代谢	205
一、微生物的酶	205
二、细菌的呼吸类型	210
三、代谢作用	211
第五节 污染物的毒性及效应	218
一、毒物的毒性参数	218
二、毒性作用的分类	220
三、毒物的单独作用与联合作用	220
第六节 毒性作用的生物化学机制	221
一、致癌作用	221
二、致畸作用	223
三、致突变作用	224
第七节 毒性测试	225
一、毒性测试程序	225
二、毒性试验	226
习题	231
第八章 典型污染物的特性及其迁移转化	232
第一节 重要污染元素及其环境化学行为	232
一、汞	232

二、镉	235
三、铅	236
第二节 重要有机污染物	239
一、多环芳烃	239
二、亚硝胺	242
三、多氯联苯	243
四、卤代脂肪烃	243
五、单环芳香族化合物	244
六、苯酚类和甲酚类	244
七、酞酸酯类	244
习题	244
第九章 有害废物及放射性固体	245
第一节 固体废物的分类、来源及主要组成	245
第二节 有害废物的判别特性	246
一、有害固体废物的定义分类、来源及组分	246
二、有害废物的迁移及危害	249
三、固体废物的处理、处置方法	251
第三节 放射性固体废物简介	252
一、放射性	252
二、照射量和剂量	253
三、环境中的放射性	254
四、放射性固体废物	257
五、放射性物质的迁移	259
六、核辐射对人体的危害	260
习题	260
第十章 其他环境化学专题	262
第一节 面源污染及其控制	262
一、点源与面污染源	262
二、面源污染的程度与负荷	262
三、面源污染物	264
四、面污染源控制措施	270
第二节 湿地资源利用与保护	273
一、《湿地公约》及其湿地定义	273
二、湿地定义的基础及应用	274
三、湿地的类型与分布	274
四、湿地功能	277
五、湿地生态系统的特点	278
六、湿地植物种植与开发模式	283
七、湿地保护对策	285

第三节 地下水污染	286
一、地下水中主要成分	286
二、地下水中的微量组分	290
三、地下水中的气体成分	294
四、地下水污染源分类	294
五、地下水的污染途径及污染条件分类	294
习题	297
第十一章 环境化学研究中的实验室模拟方法和实验	299
一、模拟实验研究案例	299
二、农药在土壤中的迁移实验	303
三、鱼体中氯苯类有机污染物的分析	305
四、工业废渣渗漏模型实验	307
五、非色散红外吸收法测定大气中的一氧化碳	307
六、邻二氮菲分光光度法测定铁条件的研究	308
习题	310
附录	312
附录 1 25℃时一些气体在水中的亨利定律常数	312
附录 2 水在不同温度下的分压	312
附录 3 某些农药的辛醇-水分配系数、溶解度与蒸气压	312
附录 4 标准状态下 (25℃, 101325Pa) 某些物质的标准生成自由能 (ΔG_f^\ominus) 及标准生成焓 (ΔH_f^\ominus)	312
附录 5 天然水中重要氧化-还原反应的 pE^\ominus 值	316
附录 6 某些物质在水中的溶度积常数 (25℃, 101325Pa)	317
附录 7 地表水中污染物挥发速率的典型值	318
附录 8 腐殖酸配合物稳定性常数	318
附录 9 卤代脂肪烃挥发时间	319
附录 10 某些典型矿物的等电点	319
附录 11 部分行业最高允许排水量	319
参考文献	322

第一章 绪 论

第一节 环境化学的形成

一、环境问题

所谓环境问题是指环境受到破坏而引起的后果，或是引起环境破坏的原因。大多数环境问题是因果兼而有之的问题。例如温室效应既是由环境破坏产生的后果，而其本身又是引起环境进一步破坏的原因。

环境问题的存在，严格说可以追溯到很远的古代。例如，中国秦时商鞅制定的秦律中就有“弃灰于衢者刑”，唐玄宗十九年（731年）令“城内不得穿掘为窑，烧造砖瓦”。但在19世纪上半叶以前，人类活动对环境的影响并不太大；即使发生环境问题，也只是局部性的和比较容易逆转的。直到20世纪30年代，环境问题才比较明显地暴露出来，一些发达国家只注意经济发展而没有环境保护意识，使污染事件和危害人体健康的事件时有发生（表1-1）。其中包括硫氧化物引发的煤烟型污染、氮氧化物和碳氢化物引起的光化学污染、甲基汞和镉引起的重金属污染及多氯联苯污染等。这些公害事件会在短期内引起公众生活环境恶化，常表现为人群大量发病和死亡。有的公害事件还具有时间延续性，其影响可及数十年之久。

表 1-1 世界重大污染事件

名 称	时间及发生地	中 毒 情 况	原 因
马斯河谷烟雾事件	1932年,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
洛杉矶光化学烟雾	1943年,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
多诺拉烟雾事件	1948年,美国多诺拉	咳嗽、喉痛、胸闷、呕吐和腹泻,4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,英国伦敦	胸闷、咳嗽、喉痛和呕吐,5d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
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
骨痛病事件	1955~1972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
乌拉尔事件	1957年,前苏联乌拉拉克什特姆镇	造成该地区上空形成一块直径为10km并带有 407×10 ¹² Bq ⁹⁰ Sr 的云层,受污染的面积比美国康涅狄克州还要大,有1万多居民撤离,37×10 ⁷ Bq ⁹⁰ Sr 就可能使人得骨癌死亡	一个装有生产钚剩下的废料储存罐爆炸
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

续表

名称	时间及发生地	中毒情况	原因
二噁英污染事件	1976年,意大利米兰	家畜大量死亡,自然流产和畸形儿增多,8个月内在法国北部某地检测到越界PCDD	由化工厂爆炸散发PCDD
海难事件	1979年,南美洲邻近特立尼达海域	32.5万吨原油入海,造成大片水域生态灾难	斯波莱士号大型油轮沉没
核事件	1983年,英国威尔士	当地小儿白血病患者激增	温茨凯尔核燃料处理工厂含Pu废液大量流出
博帕尔事件	1984年,印度博帕尔市	造成20万人中毒,10万人残废,4万人重伤,2850人死亡	美国联合碳化物公司印度子公司泄漏出46t剧毒异氰酸甲酯气体
切尔诺贝利事件	1986年,前苏联乌克兰切尔诺贝利核电站	当时31人死亡,千余人受伤,受辐射影响者难计其数,13万居民疏散,直接损失20亿卢布,到1989年底已有237人死亡,还使大片土地变成焦土	四号核反应堆发生爆炸,放射性物质泄漏出来造成放射性污染
莱茵河污染事件	1986年,瑞士巴塞尔市	大量鱼类、水鸭等死亡,前联邦德国、芬兰、卢森堡、法国等国家深受其害,井水、自来水禁止使用,有人估计莱茵河将因此死亡20a之久	桑多兹化工厂一仓库爆炸,30多吨有毒化学品随灭火液体流入莱茵河
原油事件	1991年,中东	饮用水源受污染,呼吸道疾病患者激增	伊拉克军队纵火焚烧625口油井,将储油库中大量原油放入海湾
投毒事件	1996年,东京	约5500人患病,12人死亡,上百所学校停课	地铁投毒
铀(U)事件	1999年,前南斯拉夫	严重的放射性污染	北约军事集团连续78d轰炸南联盟弹头含铀

注:引自何燧原、樊邦棠等,2000年。

由表1-1可以看出世界重大公害事件具有显著的人为性、突发性与地域性。

当今人类面临的环境问题至少有以下11个方面。

① 大气污染 主要污染物有悬浮颗粒物、一氧化碳、臭氧、二氧化硫、铅等。全球有11亿人口生活在空气污染的城市中。世界卫生组织于1998年公布的世界十大空气严重污染城市中,我国有7个,太原和北京分别名列第一和第三。

② 臭氧层破坏 按1998年9月记录的南极上空臭氧空洞的面积已达 $2720 \times 10^4 \text{ km}^2$,近南极大陆面积的1倍。

早在1985年,英国科学家就观测到南极上空出现臭氧空洞,并证实其与氟利昂分解产生的氯原子有直接关系。这一消息震惊了世界。臭氧层损耗意味着大量紫外线将直接辐射到地面,导致人类皮肤癌、白内障发病率增高,并抑制人体免疫系统功能;农作物受害而减产;破坏海洋生态系统的食物链,导致生态平衡的破坏。高空中臭氧虽在减少,但空中臭氧含量的增加还会引起光化学烟雾,危害森林、农作物、建筑物等,并会造成人的机体失调和中毒。

③ 酸雨侵袭 世界各国皆程度不同地受其危害,目前我国酸雨覆盖率以国土面积计已近40%,并有半数以上城市受酸雨之害。而酸雨会破坏土壤,使湖泊酸化,危害动植物生长;会刺激人的皮肤,诱发皮肤病,引起肺水肿、肺硬化;会腐蚀金属制品、油漆、皮革、纺织品和含碳酸盐的建筑。

④ 水体污染与水资源短缺 在世界范围已经确定存在于饮用水中的有机污染物达1100多种,每年至少有1500万人死于水污染引起的疾病。我国属于贫水国家,人均占有水量为 $2.51 \text{ km}^3/\text{a}$ (1996年),低于世界上多数国家。而水质恶化使水资源更趋于紧张。

⑤ 土地荒漠化 全球有 $19.6 \times 10^8 \text{ hm}^2$ 土地正趋于荒漠化, 2.5 亿人直接受害, 我国风蚀与荒漠化的土地面积达 $33 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

⑥ 绿色屏障锐减 世界森林面积每年减少约 $1986 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。

⑦ 物种濒危 当前地球上生物多样性损失的速度比历史上任何时候都快, 鸟类和哺乳动物现在的灭绝速度可能是它们在未受干扰的自然界中的 100~1000 倍。大面积地砍伐森林, 过度捕猎野生动物, 工业化和城市化发展造成的污染、植被破坏, 无控制的旅游, 土壤、水、空气的污染, 全球变暖等人类的各种活动是引起大量动物灭绝或濒临灭绝的原因。预计到 2040 年, 现有的约 1000 万个物种中约有 70 万个物种将永远消失。

⑧ 海洋污染 目前, 全球每年都有数十亿吨的淤泥、污水、工业垃圾和化工废物等直接流入海洋, 河流每年也将近 100t 的淤泥和废物带入沿海水域。海洋污染造成赤潮频繁发生, 使近海鱼虾锐减。

⑨ 固体废物污染 固体废物侵占大量土地, 对农田破坏严重; 严重污染空气和水体; 垃圾传播疾病; 危险废物诱发癌症。

⑩ 人口激增 世界人口数由 1960 年的 30 亿增至 1999 年的 60 亿, 有 12 亿人口处于贫困生活线以下。

⑪ 全球变暖 由于大量排放温室气体, 在过去的 100 年中, 全球气温上升了 0.6°C 。全球变暖, 可以看做一种大规模的环境灾难, 它会导致海洋水体膨胀和两极冰雪融化, 使海平面上升, 危及沿海地区的经济发展和人民生活, 影响农业和自然生态系统, 加剧洪涝、干旱及其他气象灾害。此外, 气候变暖还会影响人类健康, 加大疾病危害和死亡率, 增加传染病。

由以上列举的各种环境问题显示全球范围的环境污染问题已经达到了危险程度, 资源枯竭和生态破坏也都达到了十分严重的程度。

按发生原因可将各种环境问题归结为由自然因素引发的和由人为因素引发的两类。从宏观来看, 自然作用比人为作用强大得多, 当前人类还无力抵御由各种突发性自然灾害(如火山爆发、地震、滑坡、洪水、风暴等)引发的环境问题。但若细察以上环境问题的成因, 可发现人为因素在其中占据主导地位, 即人为作用在局部环境范围内更加突出, 并通常具有时间上的持久性。再则, 近代涌现的大量的具体环境问题显示人祸与天灾常常结伴同行, 互起推波助澜的作用。还应指出, 由人为因素造成的环境问题通常也是可以通过人力来解决或缓解的。

二、环境污染物及其环境行为与危害

(一) 环境污染物的类别

按受污染影响的环境要素的分类, 环境污染物可分为大气污染物、水体污染物、土壤污染物等, 按污染物的性质可分为化学污染物、物理污染物和生物污染物。下面对不同功能人类社会活动产生的污染物和化学污染物做些介绍。

1. 不同功能人类社会活动产生的污染物

主要考虑工业、农业、交通运输和生活四个方面。

(1) 工业 工业生产对环境造成污染主要是由于对自然资源的过量开采, 造成多种化学元素在生态系统中的超量循环; 能源和水资源的消耗与利用; 生产过程中产生的“三废”。

工业生产过程中的污染物特点是数量大、成分复杂、毒性强。常见的有酸、碱、

油、重金属、有机物、毒物、放射性物质等。有的工业生产过程还排放致癌物质，如苯并[a]芘、亚硝基化合物。食品、发酵、制药、制革等一些生物制品加工工业，除排放大量需氧有机物外，还会产生微生物、寄生虫等。

(2) 农业 农业对环境产生污染主要是由于使用农药、化肥、农业机械等工业品以及农家肥料与农业废弃物等。尤其是农药对环境造成的污染，更引起人们高度重视。

农田使用农药，只有约 10% 黏附在作物上，90% 则通过各种途径扩散到环境中。扩散的方式有溶解，悬浮于水体，流入江河湖海，以蒸气态或吸附在颗粒物上进入大气中，或吸附在土壤颗粒上等。

农药进入水体后，首先溶解于水体中。不同的农药，其溶解度不同，例如在 25℃ 时， γ -六六六为 7900mg/m³，狄氏剂为 195mg/m³，艾氏剂为 180mg/m³，而 DDT 仅为 25mg/m³。同时，水中的悬浮体可以吸附水中的农药，还可随沉降物一起沉降于底泥中较难分解。

农药进入土壤后，一部分通过蒸发散发于大气中，一部分渗透到地下层，污染地下水。但大部分保留于土壤表层，并在生物之间进行吸收转移。

很多 20 世纪使用的农药目前被认定为持久性、生物可累积有毒污染物，如艾氏剂、狄氏剂、 γ -六六六、DDT 等。它们进入到环境中后，可通过食物链在人体中富集，严重危害人体健康。

(3) 交通运输 汽车、火车、飞机、船舶都具有可移动性的特点。它们的污染主要是噪声、汽油（柴油）等燃料燃烧产物的排放和有毒有害物的泄漏、清洗、扬尘和污水等。石油燃烧排放的废气中含有一氧化碳、氮氧化物、碳氢化合物、铅、硫氧化物和苯并[a]芘等。

(4) 生活 生活活动也能产生物理的、化学的和生物的污染，排放“三废”。分散取暖和炊事燃煤是城市主要的大气污染源之一。生活污水主要包括洗涤和粪便污水，它含有耗氧有机物和病菌、病毒与寄生虫等病原体。城市垃圾中含有大量废纸、玻璃、塑料、金属、动植物食品等废物。

2. 化学污染物

对环境产生危害的化学污染物概括可分为九类。

(1) 元素 如铅、镉、铬、汞、砷等重金属和准金属、卤素、氧（臭氧）、黄磷等。

(2) 无机物 如氰化物、一氧化碳、氮氧化物、卤化氢、卤间化合物（如 ClF、BrF₃、IF₅、BrCl、IBr₃ 等）、卤氧化物（ClO₂）、次氯酸及其盐、硅的无机化合物（如石棉）、无机磷化合物（如 PH₃、PX₃、PX₅）、硫的无机化合物（如 H₂S、SO₂、H₂SO₃、H₂SO₄）等。

(3) 有机化合物和烃类 包括烷烃、不饱和非芳香烃、芳烃、多环芳烃（PAH）等。

(4) 金属有机和准金属有机化合物 如四乙基铅、羰基镍、二苯铬、三丁基锡、单甲基或二甲基胂酸、三苯基锡等。

(5) 含氧有机化合物 包括环氧乙烷、醚、醇、酮、醛、有机酸、酯、酐、酚类化合物等。

(6) 有机氮化合物 如胺、腈、硝基甲烷、硝基苯、三硝基甲苯（TNT）、亚硝酸等。

(7) 有机卤化物 如四氯化碳、脂肪基和烯烃的卤化物（如氯乙烯）、芳香族卤化物（如氯代苯）、氯代苯酚、多氯联苯（PCB）乃至氯代二噁英类等。

(8) 有机硫化合物 如烷基硫化物、硫醇、巯基甲烷、二甲砷、硫酸二甲酯等。

(9) 有机磷化合物 主要是磷酸酯类化合物（如磷酸三甲酯、磷酸三乙酯、磷酸三邻甲苯酯、焦磷酸四乙酯）、有机磷农药、有机磷军用毒气等。

(二) 化学污染物的行为及危害

化学污染物的环境行为十分复杂，但可归结为以下两个方面。① 进入环境的化学物质通过溶解、挥发、迁移、扩散、吸附、沉降及生物摄取等多种过程，分配散布在各环境圈层（水体、大气、土壤、生物）之中。与此同时，又与各种环境要素（主要是水、空气、光辐射、微生物和别的化学物质等）交互作用，并发生各种化学的、生物的变化过程。经历了这些过程的化学物质，就发生了形态和行为的变化。② 这些化学物质所到之处，在环境中也留下了它们的印迹，使环境质量发生一定程度的变化，同时引起非常错综复杂的环境生态效应。图 1-1 表明化学污染物进入环境的历程与效应。

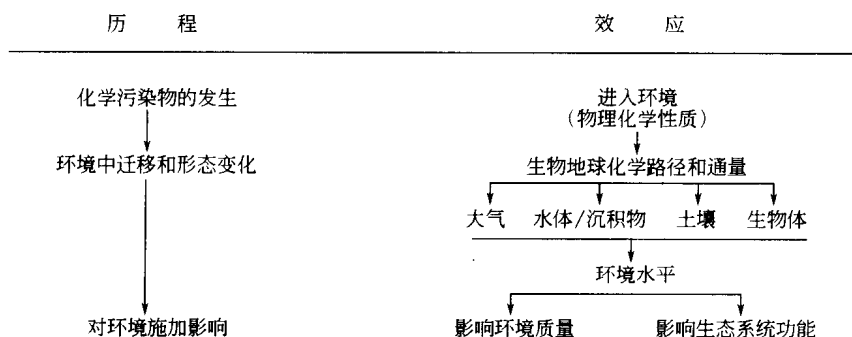


图 1-1 化学污染物进入环境的历程与效应

化学污染物危害的主要方面可列举如下：①爆炸；②可燃性，如低闪点液态烃类等；③腐蚀性，如强酸、强碱等；④氧化反应性，如硝酸盐、铬酸盐等；⑤耗氧性，如水体中有机等；⑥富营养化，如水体中含氮、磷的化合物；⑦破坏生态平衡，如农药等；⑧致癌、致畸、致突变性，如有机卤化物、多环芳烃等；⑨毒性，如氰化物、砷化物等。

对人体健康来说，环境污染物所引起的直接的而又至关重要的危害是它们的毒性。某些化学污染物对人体或生物有明显的急性毒害作用，如三氧化二砷、氰化钾等被称为毒物；还有一些化学污染物在一定条件下才显示毒性，被称为毒剂，这些条件包括剂量、形态、进入生物体的途径和个体抗毒能力等。

(三) 环境优先污染物

目前世界上已知的化学品有 700 万种之多，而进入环境的化学物质已达 10 万种。无论从人力、物力、财力或从化学毒物的危害程度和出现频率的实际情况，人们不可能对每一种化学品都进行监测、实行控制，而只能有重点、针对性地对部分污染物进行监测和控制。这就必须确定一个筛选原则，对众多有毒污染物进行分级排队，从中筛选出潜在危害性大，在环境中出现频率高的污染物作为监测和控制对象。这一筛选过程就是数学上的优先过程，经过优先选择的污染物称为环境优先污染物，简称为优先污染物 (priority pollutants)。

在初期，人们控制污染是对一些进入环境数量大（或浓度高）、毒性强的物质如重金属等进行控制，其毒性多以急性毒性反映，且数据容易获得。而有机污染物则由于种类多、含量低、分析水平有限，故以综合指标 COD、BOD、TOC 等来反映。但随着生产和科学技术的发展，人们逐渐认识到一批有毒污染物（其中绝大部分是有机物）可在极低的浓度下于生物体内累积，对人体健康和环境造成严重的甚至不可逆的影响。许多痕量有毒有机物对综合指标 BOD、COD、TOC 等贡献甚小，但对环境的危害甚大，此时，常用的综合指标已不能