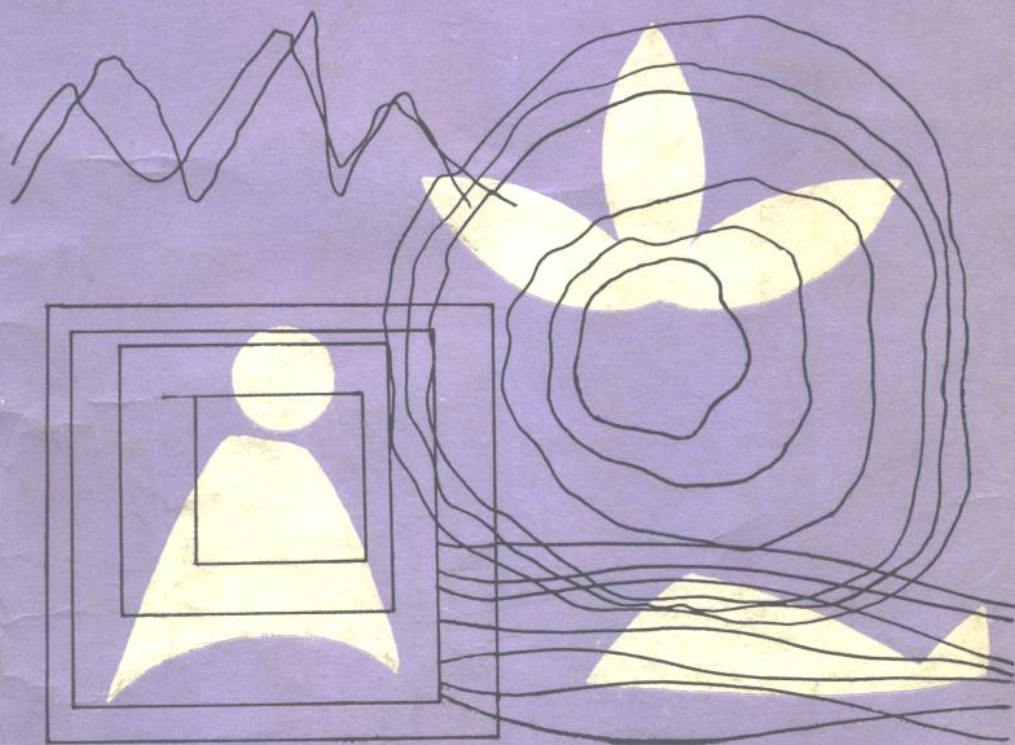


在职干部环境保护专业高等教育教材

环境化学

李惕川 主编



中国环境科学出版社

509514
730

在职干部环境保护专业高等教育教材

环 境 化 学

李 惕 川 主 编

81(470/16
(31470/32)

中国环境科学出版社

内 容 简 介

本书涉及环境化学三个方面的内容：环境污染化学、环境分析化学和污染防治化学。

全书共六章：第一章介绍环境化学的一些基本概念和基础知识；第二、三、四章分别系统地讨论了大气、水体和土壤中主要污染物的化学行为（产生及迁移、转化规律）；第五章扼要地讨论了化学污染物的主要检测方法、原理和数据处理；第六章简要介绍了污染防治技术的基本化学方法和原理。

本书可作为环境保护专业高等教育教材，也可供大学本科环境化学类专业师生及其他环境化学工作者参考。

在职干部环境保护专业高等教育教材

环 境 化 学

李惕川 主编

责任编辑 高速进

*

中国环境科学出版社出版

北京崇文区东兴隆街 69 号

北京市顺义县板桥印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

*

1990 年 5 月第 一 版 开本 787×1092 1/16

1990 年 5 月第一次印刷 印张 17 1/2

印数 1—3,100 字数 411 千字

ISBN 7-80010-474-5/X·257

定价： 7.20 元

《在职干部环境保护专业高等教育教材》
编审委员会成员

主任 曲格平

委员 (以姓氏笔划为序)

刘天齐 刘培桐 刘瑞莲 朱钟杰

任耐安 孙嘉绵 李国鼎 肖隆安

周富祥 金瑞林 张沧禄 张坤民

姜象鲤 赵云岫 胡家骏 涂长晟

蔡宏道 戴树桂

办公室 刘凤奎 林又楦

出版说明

本教材是由国家环保局组织编写的在职干部环境保护专业高等教材，主要供具有高中文化程度的环境保护在职干部教育之用，也可作为具有大专文化水平的环保人员学习环境保护专业知识用书。全套教材共有 15 本。包括环境管理和环境监测二个专业的课程内容，现首先出版环境管理专业的教材，共 11 本。即：环境科学导论、环境化学、环境生物学、环境医学、环境工程、污染源控制、环境系统工程、环境质量评价、环境经济学、环境法学概论和环境管理。

早在 1984 年，国务院环境保护委员会办公室根据中央关于加强在职干部教育工作的决定精神和全国在职干部培训要点的要求，组织全国有关的专家和学者开始教材的编写工作，并成立教材编审委员会和办公室。几年来对各册书稿进行了反复修改、精简和补充，同时在中国环境管理干部学院环境管理专业试用。全部书稿都经过有关专家评审，认为符合编写要求后交付出版的。

本套教材的编写原则是按照具有科学性和实用性并尽可能达到先进性和系统性的要求进行的。其内容包括目前我国环境管理所必需掌握的基本专业知识。因此，它还可以作为环境保护干部专业知识的考核依据和岗位培训的参考材料。在编写教材过程中得到中国环境保护科学学会、各省市环保局及清华大学、北京大学、同济大学、同济医学院、北京工业大学、北京师范大学等单位的大力支持，对此表示衷心感谢。

由于编审组织人员的工作水平有限，又是首次组织这样大型教材的编审工作，工作中的缺点错误在所难免，望各界人士批评指正。

国家环境保护局在职干部专业教材
编 审 委 员 会 办 公 室

1990 年 5 月

前 言

运用化学的理论和研究方法研究环境问题，形成了“环境化学”。环境化学是一门新的综合性基础学科，它是环境科学的一个重要分支，它对保护和改善环境，促进国民经济发展具有重要意义。

环境化学的任务是从化学角度探讨由于人类活动而引起的环境质量变化规律，及其保护和改善的原理。由于各类人为污染中化学污染的危害最大，环境化学的研究和发展受到了广泛重视，环境化学已被列为有关环境专业的必修专业基础课程。

环境化学主要包括三方面内容：环境污染化学、环境分析化学和环境工程化学（污染防治化学）等。考虑到学科系统及大专、大学本科各环境专业的需要，本书除对环境污染化学有比较详细的论述外，对环境分析化学与污染防治化学也进行了扼要介绍，可供选用。

全书分为六章：第一章绪论，介绍工业污染源、自然圈层及物质循环等基础知识和基本概念；第二、三、四章为大气污染化学、水污染化学和土壤污染化学，着重主要化学污染物在大气、水体和土壤中的化学行为（存在、迁移、转化和毒害）；第五章环境分析化学，侧重主要化学污染物分析方法的化学原理；第六章污染防治化学，扼要介绍工业废气与废水净化技术的化学原理。

本书由李惕川任主编，参加编写工作的有：李惕川、毛怀珍、李新云、黄素辉。全书经李惕川校改定稿。书内大部插图由周巧玲工程师协助绘制，谨表谢意。

书稿经南京大学王连生副教授初审，由南开大学戴树桂教授主持审定，秦皇岛环境管理干部学院刘殿生教师试用了本教材，并提出了许多宝贵的意见和建议，作者谨在此一并致谢。

作者在定稿前虽努力做了修改，但水平有限，经验不足书中可能仍有欠妥之处，恳请读者批评指正。

编 者

1987年6月

于北京工业大学

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 概述	(1)
一、化学与环境	(1)
二、环境化学研究的内容和特点	(3)
三、环境中污染物浓度表示法	(5)
四、化学污染物的危害	(6)
第二节 自然圈层与物质循环	(11)
一、环境的四个圈层	(11)
二、环境的化学演化	(11)
三、环境的化学物质循环	(12)
问题与习题	(16)
第二章 大气污染化学	(18)
第一节 大气的组成和结构	(18)
一、大气的组成	(18)
二、大气组分的停留时间	(19)
三、大气的结构	(19)
第二节 大气的能量吸收与发散	(21)
一、太阳的辐射能	(22)
二、大气对太阳辐射的吸收	(23)
三、地球的长波辐射和温室效应	(23)
第三节 主要大气污染物的产生、影响和归宿	(24)
一、一氧化碳	(25)
二、二氧化硫	(26)
三、氮氧化物	(26)
四、碳氢化合物	(28)
五、光化学氧化剂	(29)
六、颗粒物	(29)
第四节 大气光化学反应的基本原理	(29)
一、光子的能量	(29)
二、分子的运动与分子能级	(30)
三、光化学反应原理	(33)
四、大气污染中重要的光化学反应	(36)
第五节 污染大气中的自由基反应	(38)

一、自由基的形成和反应	(39)
二、大气中主要自由基的来源	(40)
第六节 氮氧化物的化学	(42)
一、一氧化氮的产生	(42)
二、二氧化氮的形成	(44)
三、二氧化氮的光解	(44)
四、硝酸与亚硝酸的形成	(45)
第七节 碳氢化物的氧化与光化学烟雾	(46)
一、碳氢化合物的氧化	(46)
二、光化学烟雾	(48)
第八节 二氧化硫的转化	(54)
一、二氧化硫在气相中的转化	(55)
二、二氧化硫在水滴中的氧化	(56)
三、二氧化硫在固体微粒表面上的氧化	(57)
第九节 气溶胶化学	(57)
一、气溶胶的定义和形态	(57)
二、气溶胶的来源与危害	(59)
三、气溶胶粒子的粒径分布	(62)
四、气溶胶的化学组成	(63)
五、气溶胶污染源的推断	(65)
第十节 酸雨	(69)
一、降水的酸度和酸雨的危害	(69)
二、酸雨的形成	(70)
三、降水的化学组成和离子平衡	(71)
第十一节 全球性污染	(72)
一、大气污染物对全球气候的影响	(72)
二、大气污染物对平流层 O ₃ 层的破坏	(74)
问题与习题	(76)
第三章 水污染化学	(78)
第一节 天然水体的组成和性质	(78)
一、天然水体的组成	(78)
二、天然水的性质	(87)
第二节 水体中的污染物	(92)
一、无毒污染物	(92)
二、有毒污染物	(93)
第三节 水中颗粒物对污染物的吸附	(95)
一、天然水体中的颗粒物	(96)
二、水中颗粒物对污染物的吸附作用	(96)
三、吸附量与吸附速度	(97)

四、水体中胶体颗粒的聚沉	(100)
第四节 重金属污染物的转化反应	(103)
一、重金属的沉淀反应	(103)
二、重金属的配合反应	(106)
三、水体电位与重金属存在形式	(115)
四、天然水中的金属形态	(125)
第五节 几种重金属在水体中的行为	(128)
一、汞	(130)
二、镉	(136)
三、铅	(137)
四、铬	(138)
五、砷	(140)
第六节 有机污染物的水环境化学	(142)
一、有机物污染程度的指标	(143)
二、有机物的化学降解反应	(144)
三、有机物的生化降解反应	(147)
四、有机物的光化降解反应	(150)
五、有机物的挥发、吸附、生物富集	(151)
六、水体中主要有机污染物的降解	(152)
问题与习题	(161)
第四章 土壤污染化学	(163)
第一节 土壤的组成	(163)
一、土壤矿物质	(164)
二、土壤有机质	(166)
三、土壤溶液	(166)
四、土壤空气	(167)
第二节 土壤的性质	(167)
一、土壤的疏松多孔性	(167)
二、土壤的胶体性质	(167)
三、土壤的配合和螯合作用	(168)
四、土壤的氧化还原性质	(168)
五、土壤的酸碱性	(168)
六、土壤的生物学性质	(169)
七、土壤的自净作用	(169)
第三节 土壤化学污染	(169)
一、土壤污染源	(170)
二、土壤中主要污染物质	(170)
三、重金属对土壤的污染及危害	(170)
四、影响重金属在土壤中迁移转化的主要因素	(171)

五、主要重金属在土壤中的迁移转化	(174)
六、化学农药及其他有机物对土壤的污染	(176)
七、氮素和磷素化学肥料对土壤的污染	(179)
第四节 土地处理系统——科学污灌	(180)
问题与习题	(182)
第五章 环境分析化学	(183)
第一节 概述	(183)
一、环境分析化学的特点	(183)
二、环境分析任务和方法的分类	(184)
三、环境样品的采集与预处理	(188)
四、环境样品分析的分离富集	(193)
五、环境分析误差	(194)
六、随机误差的统计分布	(196)
七、置信度与平均值的置信区间	(199)
八、显著性检验	(201)
第二节 无机污染物的测定	(205)
一、吸光光度法	(205)
二、原子吸收法	(209)
三、电化学分析法	(213)
四、自动监测分析	(216)
第三节 有机污染物的测定	(219)
一、概述	(219)
二、色谱法的分类	(220)
三、气相色谱法	(221)
四、高效液相色谱简介	(226)
第四节 颗粒状污染物的测定	(228)
一、降尘量测定和成分分析	(228)
二、飘尘的测定和成分分析	(230)
第五节 标准分析方法和环境质量标准	(233)
一、标准分析方法	(233)
二、环境标准物质	(234)
三、环境质量标准和污染物排放标准	(235)
问题与习题	(239)
第六章 污染防治化学	(241)
第一节 大气污染防治	(241)
一、冷凝法	(241)
二、燃烧法	(242)
三、催化转化法	(243)
四、吸收法	(245)

五、吸附法	(246)
六、颗粒污染物的净化方法	(247)
第二节 水污染防治	(249)
一、废水处理的物理方法	(250)
二、废水处理的化学方法	(251)
三、废水处理的物理化学方法	(255)
四、废水处理的生物方法	(262)
问题与习题	(266)
参考文献	(267)

第一章 绪 论

第一节 概 述

一、化学与环境

化学是研究物质化学反应规律的基础科学。人类居住的地球环境是由各类物质组成的，其演化的历程也是物质遵循化学规律变化的过程。所以，研究环境问题离开化学是不行的。而且，造成环境污染的因素大体上可分为物理的（噪声、振动、热、光、辐射及放射性等）、生物的（微生物、寄生虫等）和化学的（无机物、有机物等）三方面，而其中因化学物质引起的环境污染占80~90%——量大、面广、种类多、危害大。因此，要认识环境和保护环境，必然会涉及大量化学问题。

（一）环境的化学污染

环境污染主要是化学物质的污染，这不是偶然的。本世纪以来，特别是50年代以后，人类活动尤其是工业生产排放的废弃物急剧增加。据70年代末期估计，每年排入环境的固体废物超过30亿吨；废水近7000亿吨；废气中仅尘、一氧化碳和二氧化硫就达5亿吨左右。这些工业废弃物排放量的激增，一个重要的原因是工业生产过程中的矿物燃料年耗量猛涨，本世纪初还不足15亿吨，70年代就增至70~80亿吨。这样巨量的有害化学物质进入大气、土壤、水体，大大降低了环境的质量，直接和间接地影响人类的健康、生物的繁衍和生态的平衡。

特别应当指出的是近30年来的“化学化”，使琳琅满目的新产品，铺天盖地而来。人们在生产和使用化学品，享受现代化生活的同时，却通过各种渠道往环境不断投放大量化学物质。人们已经使用过的化学物质有几百万种之多，每年大约有10000种新化学物质进入人类环境中。1973年美国职业卫生研究所列出的有毒化学品有25043种，那些未被列入毒品的物质进入环境后，也会给环境带来冲击，有的在环境中经化学、生物转化后，成为对人体健康有害、有毒的物质。值得注意的是合成有机化学品，如纤维、塑料、染料、化肥、农药和多氯联苯等，其产量80年代初已超过1亿吨。不少合成有机化合物是有毒的，而且是自然环境所难以降解的物质，如DDT在土壤中可以残留10~15年之久。它们会进入食物链而富集于生物有机体内，对人体健康造成急性或潜在的危害。据不完全统计，危害人类最大的癌症，大量也是由化学物质引起的。此外，每年施用的矿物肥料超过4亿吨，所有这些物质一半以上被冲刷到江、河、湖、海或飘荡于大气中。另外还有3000万吨以上的有毒重金属和数千万吨废油排入天然水域。这些人为了引起的环境化学效应，危及人类和生态。

我国工业生产造成的化学污染也较严重。据统计，80年代初期每年向大气中排放污染物4300万吨，其中粉尘约2000万吨，二氧化硫约1800万吨，氮氧化物约400多万吨。我国是世界上少数几个污染物排放量大的国家之一。据估算，燃烧过程产生的大气污染物约占大气污染物总量的70%，其中燃煤排放量则占整个燃烧排放量的96%。可见，在大气排放物总量中燃煤排放物所占比重很大：烟尘占粉尘总排放量的60%；二氧化硫占总排放量的87%；氮氧化物占总排放量的67%。根据几十个城市环境监测数据（表1-1）表明：所有城市降尘都超过环境标准；大气中的颗粒物，北方城市普遍超标，南方城市也大部分超标；二氧化硫超标率也较高（北方城市30%，南方城市19.2%）。由上述统计、估算和大气监测结果可见，我国的大气污染是典型的以排放烟尘和二氧化硫为特征的煤烟型污染。这与我国能源构成中煤炭占70%以上有密切关系。除上述煤烟型大气污染的一般情况外，我国局部地区还存在其他特征型的大气污染，如光化学烟雾、氟污染，特别是南方地区的酸雨污染等。

表1-1 我国城市大气污染水平(1981年)

	北方城市		南方城市		国家标准
	范围	平均	范围	平均	
降尘 (t/km ² ·mon)	21.42~103.75	50.67	10.79~46.5	18.76	
颗粒物 (mg/m ³)	0.37~2.77	0.93	0.16~0.85	0.41	二级 0.3 三级 0.5
二氧化硫 (mg/m ³)	0.02~0.38	0.12	0.02~0.45	0.11	二级 0.15 三级 0.25

我国工业排放废水238亿吨（1981年），占废水总排放量的79%，废水中含无机和有机的有害有毒物质有：重金属、酚、氰化物、氯化物、氮、磷、农药、多氯联苯、多环芳烃、油类、酸、碱、有机耗氧物和其他未知物。我国城市地面水和地下水已普遍受到有机物的污染，重金属污染和危害尤为严重。

此外，全国废渣排放量约4.3亿吨（1981年），仅冶金、煤炭、电力三个工业部门的积存量就达120亿吨。工业废渣不但侵占良田，而且经风吹、雨淋，其中的有毒、有害物质会转入大气和浸入水、土，从而危害人、畜。

(二) 化学与环境保护

已如上述，人类在生产“化学化”、享受现代生活的同时，遭到来自化学物质污染的威胁，甚至酿成公害事件，若不采取有效措施，其后果难以想象。在严酷的现实面前，人们逐渐懂得了如何利用化学或物理化学的方法、原理来认识、评价环境和消除化学污染物，以达到保护人类生存环境的目的。面临的一系列问题是：人类通过大规模开发、炼制、生产、消费、排废，进入环境的大量化学物质在环境中是怎样循环、迁移、转化

和反应的呢？其存在的形态、组分与结构，物理化学性质，变化动态，最终归趋为何？对环境质量会产生什么变化？对生物和人体产生什么效应？对各类生态系统有何冲击？对人类的危害如何？从事环境工作的化学工作者有责任回答这些问题，即必须利用化学理论、技术和方法结合环境特点，来逐步摸清各种污染物的污染规律。

科学工作者不断提供科学的采样方法和精确、灵敏、快速的分析手段，不断查明一条条河流、一个个地区及许许多多污染源的化学污染现状和大致的污染机制，为有效控制环境质量提供了科学依据。

许多科学工作者应用化学、化工原理和方法，净化和回收化学污染物质。如利用吸收、吸附、催化转化等方法净化、回收废气中的有害物质；利用吸附、萃取、离子交换、高分子膜、浮选、絮凝、化学沉淀、化学氧化等技术净化废水及回收有用化学物质。目前已开始研究和应用化学计量、封闭和流态化等新方法、新技术和无污染或少污染的新能源、新产品、新材料、新工艺和新方法，从根本上消除化学污染。

综上所述，人们利用化学和其它科学技术成果，竭力消除现代生产引起的化学污染，以期达到经济建设和环境保护的协调发展。不难看到，正是在面临化学污染严重的情况下，在利用化学方法解决化学污染的研究和实践过程中，一门新的综合性基础学科——环境化学应运而生。

二、环境化学研究的内容和特点

运用化学的理论和研究方法研究环境问题，形成了环境化学。一方面环境化学是在无机化学、有机化学、分析化学、物理化学、化学工程学基础上来研究环境中化学现象的，可以认为它是一个新的化学分支学科；另一方面环境化学又是从保护自然生态和人体健康的角度出发，将化学与生物学、气象学、水文地质、土壤学等进行综合，逐渐发展了新的研究方法、手段、观点和理论，因而它又是环境科学的一个重要组成部分（分支学科）。鉴于化学污染在各类人为污染中危害最大，环境化学的研究和发展受到广泛的重视。

（一）什么是环境化学

环境化学是环境科学的一个分支学科。概括地说环境化学是研究化学污染物在环境中的化学运动规律及其防治的科学。即它主要是运用化学的理论和方法，鉴定和测量化学污染物在大气圈、水圈、土壤-岩石圈和生物圈中的含量；研究它们在环境中存在形态及其迁移、转化和归宿的规律；研究消除化学污染物的化学技术及原理。

由于环境化学是一门新兴学科，它的定义以及所包括的内容国内外尚有不同看法。如有人认为：广义地讲，它研究物质在大气、水体、土壤等自然环境中所发生的化学现象，这一看法囊括了所有物质（不仅是污染物）在环境中的所有化学现象；也有人认为：环境化学除研究化学污染物外，还应明确包括其他对人类生态可能带来影响的化学物质。环境化学的范畴的讨论，对环境化学学科的发展是有益的。

(二) 环境化学的内容

要掌握环境污染的水平 and 可能造成的危害, 就必须弄清化学污染物进入环境后的存在形态及其运动规律, 同时还必须准确测定它们的含量。因此, 形成了环境污染化学和环境分析化学两个环境化学的重要分支。此外, 对消除污染物的化学原理研究, 即所谓污染防治化学或称环境工程化学, 也属于环境化学的重要研究方面。

环境污染化学 它是研究化学污染物在大气、水体和土壤中的迁移、转化和积累的化学过程, 是环境化学的重要组成部分。主要包括大气污染化学和水污染化学, 此外土壤和能源的污染化学也属于环境污染化学的范畴。大气污染化学是研究主要大气污染物(颗粒物、硫氧化物、氮氧化物、碳氧化物、碳氢化合物和臭氧等)在大气中的存在和化学变化规律, 尤其是对人体危害严重的各种烟雾和酸雨的形成过程的研究极为重视。水污染化学主要是在溶液平衡理论(酸碱、沉淀与溶解、氧化还原、络合)基础上, 对重金属、农药等污染物在水体中的存在与化学转化的研究。

环境分析化学 要得知化学污染物在环境中的本底水平和污染现状, 必须应用化学分析的技术取得各种数据。这为环境中污染物化学行为的研究、环境质量的评价、环境污染的预测、预报, 以及为治理污染等提供科学依据。所以环境分析化学是环境科学研究 and 环境保护必备的耳目和重要的手段。由于环境中污染物种类繁多, 含量极低, 而且相互作用后的情况更为复杂, 因而要求采取灵敏度高、准确度高、重现性好和选择性好的手段。为了掌握区域环境污染动态变化, 还必须应用自动连续监测和卫星遥感等新技术。

污染防治化学 研究利用化学或物理化学的方法和原理, 来净化处理及回收利用废水、废气和废渣中的化学污染物。目前已从工业“三废”的单项治理技术, 逐渐向利用物理、化学和生物等方法相结合的综合治理技术方向发展; 从单个污染源治理向某个水系或地区进行综合防治方向发展; 从消极治理向改革工艺、减少排放方向发展。能源引起的污染, 特别是燃煤引起的大气污染已被重视, 着重研究控制尘、二氧化硫、氮氧化物污染和燃料脱硫、脱硝和煤的液化、气化, 同时开展新化学能源和无害燃料方面的研究。从保护水资源着眼, 实现废水中重金属和难降解物质的回收利用。从处理工厂废渣入手, 探索综合利用的化学方法。

(三) 环境化学的特点

环境化学是一门新兴学科, 其研究的对象和方法具有复杂性和综合性的特点, 虽然已有不少研究成果, 但仍不够系统和成熟, 尚待进一步探索和发展。

环境化学的研究对象是由化学污染物和环境背景物(天然物质)构成的多组分综合体系, 这个体系是个开放体系, 时刻有能量流和物质流传递, 所受的影响因素复杂多变, 如物理因素(光照、辐射)、生物因素、气象、水文、地质、地理条件等。因而在探讨污染物变化规律和影响危害时, 切忌简单从事, 必须综合多方面的因素去考查, 才能得出符合实际的结论。如重金属汞在环境中除了化学转化外还有生物转化问题; 氮氧

化物的大气污染不但要考虑它的一般化学反应还要考虑光照作用和地形、地貌条件；有机物和农药等在环境中的衰变不仅要注意光解和化学降解作用，还要注意生物降解作用等等。

环境化学的另一特点是化学污染物在环境中的含量极低，一般只有百万分之几 (ppm) 或十亿分之几 (ppb) 的水平，但是分布范围广，而且处于迅速迁移与转化之中，可谓瞬息万变。这就要求环境分析化学的技术和方法与之相适应。另外，这些微量、痕量污染物易与大气或水体中的颗粒物相结合，在其表面上转化，以其为载体而迁移。因而对化学污染物在环境中的行踪观察和含量测定，不得不注意有关界面胶体化学的特征。

三、环境中污染物浓度表示法

由于化学污染物在环境中的含量一般很低，用常规的浓度表示法很不方便，因而通常采用下列微量、痕量及超痕量的浓度单位。

1. ppm、ppb、ppt

ppm (parts per million)，为百万分之几的英文缩写。即一百万份体积（或重量）物质中所含污染物的体积（或重量）的份数。

$$\begin{aligned} 1\text{ppm} &= \frac{1\text{份体积(或重量)的污染物}}{10^6\text{份体积(或重量)的空气或水}} \\ &= 10^{-6} = 0.0001\% \end{aligned}$$

显然，1ppm 相当于在 1m^3 (10^6ml) 空气中含有 1ml 的污染物，或相当于在 1kg (10^6mg) 水中含有 1mg 的污染物。

ppb (parts per billion)，为十亿分之几的英文缩写。即 10 亿份体积（或重量）物质中所含污染物体积（或重量）的份数。

$$\begin{aligned} 1\text{ppb} &= \frac{1\text{份体积(或重量)的污染物}}{10^9\text{份体积(或重量)的空气或水}} \\ &= 10^{-9} = 0.0000001\% \end{aligned}$$

显然，ppb 是表明在 1m^3 空气中或 1kg 水中含有多少微升 (10^{-3}ml) 或微克 (10^{-3}mg) 的污染物。

ppt (parts per trillion)，为万亿分之几的英文缩写。它是一种超痕量的浓度单位。上述几种浓度单位常用来表示大气污染物的浓度，它们之间的关系是：

$$1\text{ppm} = 10^3\text{ppb} = 10^6\text{ppt}$$

2. 毫克·升⁻¹、微克·升⁻¹和毫克·立方米⁻¹、微克·立方米⁻¹

这是用单位体积(升或立方米)的水或空气含污染物的重量(微克或毫克)数来表示的浓度。大气污染物的浓度常用微克·立方米⁻¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 或毫克·立方米⁻¹ (mg/m^3) 表示，而水中污染物则常用毫克·升⁻¹ (mg/L) 或微克·升⁻¹ ($\mu\text{g}/\text{L}$) 表示。

各种书刊中大气污染物浓度有时以 ppm 计，有时以 mg/m^3 表示。它们之间可以

按下式换算：

$$P = C \cdot \frac{22.4}{M}$$

或

$$C = P \cdot \frac{M}{22.4}$$

式中， P ——以 ppm 表示的浓度

C ——以 mg/m^3 表示的浓度

M ——被测气体污染物的摩尔质量

22.4——气体的摩尔体积(0°C ，760mmHg)

例如：大气中二氧化硫浓度为 5ppm 试换算成 mg/m^3 (0°C ，760mmHg)表示。

$$C = 5 \cdot \frac{64}{22.4} = 14.3 \text{mg}/\text{m}^3 \text{ (} 0^\circ\text{C, 760mmHg)} \text{ 若换算为 } 25^\circ\text{C, 760mmHg} \text{ 汞柱时的}$$

mg/m^3 ，则气体的摩尔体积应取 24.45，即：

$$C = 5 \cdot \frac{64}{24.45} = 13.1 \text{mg}/\text{m}^3 \text{ (} 25^\circ\text{C, 760mmHg)} \text{ 又如，将在 } 0^\circ\text{C} \text{ 和 } 25^\circ\text{C} \text{ 时}$$

$0.75 \text{mg}/\text{m}^3$ (SO_2)表示为 ppm。

$$0^\circ\text{C} \text{ 时, } P = 0.75 \cdot \frac{22.4}{64} = 0.26 \text{ppm}$$

$$25^\circ\text{C} \text{ 时, } P = 0.75 \cdot \frac{24.45}{64} = 0.29 \text{ppm}$$

显而易见，用 ppm 表示空气污染物浓度，其优点是和温度及压力无关，故在美国大气污染物浓度大多采用 ppm 表示。但对在通常条件下处于液态或固态微粒的污染物，用 ppm 表示是有缺点的，因为它的毒性是和重量相对应而不是与其体积相对应。

四、 化学污染物的危害

化学污染物在环境中的含量虽低，但危害很大。其危害主要表现为对人的健康影响与生命威胁；对生态系统的破坏两大方面。现将化学污染物按其危害效应的不同分为以下几类。

(一) 毒性物质

已如前述，美国 1973 年登记的有毒化学物质已达 25043 种，而危害严重而受到特别关注的主要化学毒物是重金属如汞、铅、砷、镉、铬等和农药如有机氯、有机汞等。它们具有毒性大，在环境中稳定（不易分解）以及能在生物体中富集和在人体中积累的共同特点。因此能造成普遍的、长期的和严重的中毒事件。例如汞和镉的致毒浓度范围低至 $0.001 \sim 0.01 \text{ppm}$ ($1 \sim 10 \text{ppb}$)，它们能在生物体内逐级地、成千上万倍地富集，通过食物链进入人体器官中积蓄起来。如表 1-2 所示，镉在人肾