

环境化学

汪群慧 王雨泽 姚 杰 编著

哈尔滨工业大学出版社
哈尔滨

内 容 摘 要

全书分五篇共十六章,包括大气污染化学、水污染化学、土壤污染化学、污染生态化学、典型污染物的迁移转化等。以阐述化学污染物在大气、水、土壤、生物各圈层环境介质中迁移转化过程及其效应为主线,较全面、深入地阐明了其基本原理、机制和规律,探讨了与人类密切相关的全球环境问题,反映了本领域的最新研究成果和进展。每章后面还编有“本章基本要求”及一定数量的“思考题与习题”。

本书可作为高等学校环境科学、环境工程、市政工程及相关专业本科生和研究生的教材或参考书,也可供从事环境保护和环境科学研究工作的专业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

环境化学/汪群慧,王雨泽,姚杰编著. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2004.1

ISBN 7-5603-1948-3

I.环… II.①汪…②王…③姚… 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 097510 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区教化街 21 号 邮编 150006

电 话 0451-86414249

印 刷 黑龙江省教育厅印刷厂

开 本 787×960 1/16 印张 19.25 字数 420 千字

版 次 2004 年 1 月第 1 版 2004 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5603-1948-3/X·14

印 数 1~4 000

定 价 26.00 元

前 言

环境化学是利用化学各基础学科的理论知识来探讨和解决与化学相关的环境问题的科学,它是化学学科的一个重要分支,也是环境科学的核心组成部分。为了解化学污染物在环境中的存在、分布及危害,不仅要对污染物质进行表征和检测,而且需要研究它们在环境中的形态变化、迁移转化、积累、归宿和生物效应等等,还需要应用化学、生物、地学、水文地质和气象学等学科的基础理论和方法进行多学科的综合研究,这将大大丰富了环境化学的研究内容,还将为环境化学同其他学科的相互渗透、相互促进提供许多新的领域。

本教材以阐述化学物质在大气、水、土壤、生物各环境介质中迁移转化过程及其效应为主线,全面深入地论述这些过程的机制和规律,并注重反映环境化学及环境工程领域最新研究成果和进展。内容涉及大气污染化学、水污染化学、土壤污染化学、污染生态化学、典型污染物的迁移转化。由于环境化学具有与实际生产和生活活动密切相关的特征,因此,本教材的内容注重基础理论和应用实例相结合,与我们面临的全球性、区域性及局部地区的实际环境问题相结合,并深浅兼顾,可供高等学校环境科学、环境工程的本科生和研究生以及环境领域的研究人员选用和参考。

全书共分五篇,绪论、第一、二、四章由汪群慧撰写,第三章由黄擎撰写,第五、六、七章由王雨泽撰写,第八、九、十章由徐刚、姚杰撰写,第十一、十二、十三章由汲永臻、汪群慧撰写,第十四、十五章由马鸿志、汪群慧撰写,全书由汪群慧统稿。书中引用了许多作者的论著,特别是参考了在本学科领域具有权威性的戴树桂教授主编的《环境化学》教材,在此向他们表示衷心的感谢。对为本书的出版给予支持和帮助的哈尔滨工业大学出版社表示真挚的谢意。

在我国,环境化学的研究始于 20 世纪 70 年代初,哈尔滨工业大学是最早开展环境化学研究与设立环境化学课程的高等学校之一,有比较丰富的教学经验。作为本教材的主编,特向我们的导师——哈尔滨工业大学第一位讲授环境化学课程的周定教授,多年来对我的教导致以衷心的感谢。

由于时间仓促和作者水平有限,书中不妥及疏漏之处在所难免,切望各位同仁赐教,同时,也希望同学们在使用过程中能提出宝贵意见,以使本书得以完善。

作 者

2003 年 9 月

目 录

绪 论	(1)
第一节 环境化学的形成	(1)
第二节 环境化学的研究对象、内容及特点	(4)
第三节 环境化学的发展动向	(9)

第一篇 大气污染化学

第一章 大气中污染物的迁移过程	(14)
第一节 大气圈	(14)
第二节 大气中污染物的迁移过程	(19)
第二章 大气污染物的光化学转化过程	(25)
第一节 大气光化学反应基础	(25)
第二节 氮氧化物的转化	(32)
第三节 碳氢化合物的转化	(34)
第四节 光化学烟雾	(40)
第五节 平流层的光化学过程	(46)
第三章 酸沉降的化学过程	(52)
第一节 降水中酸性物质的形成	(52)
第二节 酸沉降化学	(59)
第三节 降水 pH 和化学组分的背景值	(64)
第四章 大气污染化学研究的新领域	(69)
第一节 室内环境的污染	(69)
第二节 恶臭的污染	(77)
第三节 大气气溶胶的污染	(87)
第四节 沙尘暴的成因及防治	(92)

第二篇 水污染化学

第五章 天然水环境概述	(98)
第一节 天然水简介	(99)
第二节 天然水的组成和性质	(101)
第六章 水环境中污染物的化学转化	(112)
第一节 沉淀和溶解作用	(112)
第二节 配合作用	(118)
第三节 氧化和还原作用	(124)
第四节 水解作用	(132)
第五节 金属甲基化作用	(133)
第六节 光化学作用	(134)
第七节 生物转化作用	(135)
第七章 水环境中污染物的相间行为和界面过程	(138)
第一节 相间行为	(138)
第二节 界面过程	(141)

第三篇 土壤污染化学

第八章 土壤的组成与物理化学性质	(149)
第一节 土壤的组成	(149)
第二节 土壤的吸附性	(154)
第三节 土壤的酸碱性	(158)
第四节 土壤的氧化还原性	(162)
第九章 重金属在土壤环境中的迁移转化	(166)
第一节 土壤-植物系统中重金属的迁移转化	(167)
第二节 植物对重金属污染产生耐性的机制	(173)
第三节 土壤重金属植物修复技术的原理及应用	(176)
第十章 农药在土壤环境中的迁移转化	(179)
第一节 农药在土壤中的挥发、扩散和迁移	(179)
第二节 农药在土壤中的降解	(182)
第三节 农药在土壤中的残留	(190)

第四篇 污染生态化学

第十一章	污染物的生物吸收和生物浓缩	(193)
第一节	污染物的生物富集、放大和积累	(193)
第二节	生物膜的透过机理	(196)
第三节	污染物的生物摄取和排出	(198)
第十二章	污染物的微生物转化	(201)
第一节	污染物生物转化反应基础	(201)
第二节	有机污染物的微生物降解	(208)
第三节	金属元素的生物甲基化	(217)
第四节	氮、硫及碳的微生物转化	(221)
第十三章	污染物的生物毒性	(228)
第一节	污染物的毒性	(228)
第二节	毒性的联合作用	(230)
第三节	毒性作用的生物化学机制	(231)

第五篇 典型污染物的迁移转化

第十四章	典型无机污染物	(238)
第一节	重金属类污染物	(238)
第二节	无机盐类污染物	(250)
第三节	放射性核素	(262)
第十五章	典型有机污染物	(268)
第一节	多环芳烃	(268)
第二节	有机卤代物	(272)
第三节	表面活性剂	(283)
附 录		(290)
附录 1	水质指标	(290)
附录 2	水质标准	(291)
附录 3	我国水中污染物黑名单	(292)
附录 4	25 ℃时一些气体在水中的亨利定律常数	(292)
附录 5	水在不同温度下的分压	(292)

附录 6	金属氢氧化物溶度积	(293)
附录 7	天然水中重要氧化 – 还原反应的 $pE^\ominus$ 值	(293)
附录 8	腐殖酸配合物稳定常数	(294)
附录 9	某些典型矿物的等电点	(295)
附录 10	某些农药的辛醇 – 水分配系数、溶解度和蒸气压	(296)
附录 11	卤代脂肪烃挥发时间	(296)
附录 12	地表水中污染物挥发速率的典型值	(297)

绪 论

工业革命使得生产力得以迅速发展,机械化生产在创造大量财富的同时,在生产过程中排出废弃物,从而造成环境污染。特别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。目前,存在的主要环境问题有:温室效应、臭氧层破坏、气候变化、水资源的短缺和污染、有毒化学品和固体废弃物的危害、酸雨、土地沙漠化,以及生物品种的减少等,已对人类的生存和发展构成了威胁。

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,已成为环境科学工作者的一个重要职责。环境科学与化学学科交叉形成的环境化学学科在这方面负有特殊的使命。

第一节 环境化学的形成

一、环境问题

由于人为因素使环境的构成或状态发生变化,环境素质下降,从而扰乱和破坏了生态系统和人们的正常生活和生产条件,就叫做环境污染。20世纪30~70年代发生的最著名的世界八大公害(表1)中,有五个公害是由于排放大量气体和浮尘引起的,另外三个公害是由于污染而最终引起食物中毒的事件。

表1 世界八大公害事件

公害事件	时间及发生地	中毒情况	产生原因
马斯河谷 烟雾事件	1932年12月比利时 马斯河谷	咳嗽、呼吸短促、流泪、喉痛、恶 心、呕吐和胸室闷,数千发病,60 人死亡	SO_2 转化为 SO_3 进入肺部
多 诺 拉 烟雾事件	1948年10月美国多 诺拉	咳嗽、喉痛、胸闷、呕吐和腹泻, 4 d内约 6 000 人患病,17 人死亡	SO_2 与烟尘作用生成了硫酸盐, 吸入肺部
伦 敦 烟雾事件	1952年12月英国伦 敦	胸闷、咳嗽、喉痛和呕吐,5 d 内 4 000 人死亡,历年共发生 12 起, 死亡近万人	粉尘中 Fe_2O_3 使 SO_2 转变成硫 酸,附着在烟尘中,吸入肺部

续表 1

公害事件	时间及发生地	中 毒 情 况	产 生 原 因
洛 杉 矶 光化学烟雾	1943 年 5 ~ 10 月美 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
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, 最后精神失常甚至死亡,患者 180 多人,死亡 50 多人	食用含有甲基汞的鱼
痛痛病事件	1931 ~ 1973 年日本 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
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 5 000 多人,死亡 16 人	食用含有多氯联苯的米糠油所 致

20 世纪 70 年代以来,所发生的许多公害的严重程度已远远超过了八大公害事件(表 2)。在印度,博帕尔农药厂化学品泄漏造成约 3 000 人死亡;在墨西哥城,液化气罐爆炸使千人遇难;在前苏联,切尔诺贝利核反应堆爆炸使核尘埃遍布欧洲。

表 2 20 世纪 70 年代以来发生的重大公害事件

肇 事 污 染 物	事件名(地点,时间)	简 况
多氯代二苯并 - 对 - 二噁英类 (PCDDs)	二噁英污染事件 (意大利米兰,1976 年)	由化工厂爆炸散发 PCDDs,家畜大量死 亡,自然流产和畸形儿增多,8 个月后可在 法国北部某地检测到越界的 PCDDs
原 油	海难事件 (南美洲邻近特立尼达海域,1979 年)	斯波莱士号大型油轮沉没,32.5 万 t 原 油入海,造成大片水域生态灾难
钚 (Pu)	核事件 (英国威尔士,1983 年)	温茨凯尔核燃料后处理工厂含 Pu 废液 大量流出,当地小儿白血病患者激增
甲基异氰酸酯 (MIC)	毒气泄漏事件 (印度博帕尔市,1984 年)	从贮罐泄漏 46 tMIC,转化气体,20 万人 吸入毒气,约 3 000 人死亡
核裂变产物 (FPs)	核事件 (前苏联乌克兰,1986 年)	切尔诺贝利核电站运行中发生火灾和 爆炸,放射性污染波及欧洲,约 300 万人 受核辐照,死亡 4 000 余人

续表 2

肇 事 污 染 物	事件名(地点,时间)	简 况
农 药	排毒事件 (瑞士莱茵河,1986 年)	沿河药品仓库失火,30 t 农药等随灭火用水排入河中。50 万尾鱼死亡,4 000 万人饮水受影响
原 油	战事 (中东,1991 年)	伊拉克军队纵火焚烧 625 口油井,将贮油库中大量原油放入海湾,引起天降黑雨,饮水源受污染,呼吸道疾病患者激增
甲氟磷酸异丙酯 (Sarin)	投毒事件 (日本东京,1996 年)	奥姆真理教教徒在地铁投毒,约 5 500 人患病,12 人死亡,上百所学校停课
铀(U)	战事 (南斯拉夫,1999 年)	北约军事集团连续 78 d 轰炸南联盟国土,弹头中所含 23 t 贫铀产生严重的放射性污染

注:非化学性因素(如噪声)也可造成公害。

更为严重的是,现在不是局部的污染,而是生态环境的恶化。每年有 600 万 hm^2 具有生产力的旱地变成沙漠,有 1 100 多万 hm^2 的森林遭到破坏。在非洲,干旱将 3 500 万人置于危难之中;由于饮用水被污染,全球每年约有 6×10^7 人死于腹泻……由此可见,决定地球人类前途和命运的是“环境”。

我国的环境污染也相当严重。现在每年排放的 SO_2 已达 1 500 万 t 以上,成为世界上 SO_2 排放量最多的国家之一, SO_2 、颗粒物排放量将继续增加,酸雨覆盖面积将继续扩大。其次,我国水污染也相当严重,大约有 85% 的城市污水未经处理直接排入水体,其中,工业废水所占的比重较大。有关资料表明,我国江、河、湖和水库已普遍受到不同程度的污染,同时,查出水体中存在百种以上有毒有害的有机污染物。

二、环境化学的形成

环境污染问题促进了环境化学研究的发展。例如,通过煤烟型大气污染问题的研究发展了硫和气溶胶化学,通过光化学烟雾污染的研究发展了大气光化学,通过酸雨污染的研究发展了降水化学。另一方面,当污染物进入水体后,又将怎样迁移、转化,日本发生的水俣病是一个典型的例子。由于日本水俣病患者是当地渔民,所以医学家估计,可能与他们的食物摄入有关。通过对海湾底沉的分析,汞多数以金属汞的形态存在,相对来说,金属汞是低毒的。因此,汞究竟以何种形态存在使生物中毒,引起了环境科学界的关注。1967~1968 年间,瑞典科学家对湖泊“死鸟事件”进行调查,发现是由于鸟吃了含有烷基汞的鱼引起死亡的,但自然界并不存在烷基汞,这促使人们深入探讨汞的迁移、转化、存在形态及环境影响,反过来又促进环境化学的发展。

环境化学的发展大致可分为三个阶段: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。20世纪60年代初,由于当时发现有机氯农药的污染,开始了农药中环境残留行为的研究。到了70年代,为推动国际重大环境前沿性问题的研究,1969年国际科联成立了环境问题专门委员会(SCOPE),1971年出版了第一部《全球环境监测》专著,随后,在20世纪70年代陆续出版了一系列与化学有关的专著,这些专著在当时环境化学的研究和发展中起了重要作用。1972年在瑞典斯德歌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。应该说,这一系列的举措在人类的环境保护事业中起到了里程碑的作用,形成了一门新的化学分支学科——环境化学。

20世纪80年代以后,全面地开展了对各主要元素,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的研究;重视了化学品的安全性评价;开展了臭氧层破坏、温室效应等全球性环境问题的研究。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)于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。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。1995年,诺贝尔化学奖第一次授予了三位环境化学家Crutzen、Rowland和Molina,他们首先提出了平流层臭氧破坏的化学机制。Crutzen于1970年提出了 NO_x 理论,Rowland和Molina于1974年提出了CFCs理论,这几位化学家的实验室模拟结果在现实环境中得到验证,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”,从而导致了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,环境化学已经开始走向全面发展。

第二节 环境化学的研究对象、内容及特点

一、环境化学的研究对象

环境化学是一门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。它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新兴科学。

环境污染物是环境化学研究的对象,它们进入环境后对环境和人类产生直接或间接的危害。有些物质原本是人和生物必需的营养元素,由于未充分利用而大量排放,就可能成为环境

污染物。如引起水体富营养化的氮、磷化合物。有的污染物进入环境后,通过物理或化学反应或在生物作用下会转变成危害更大的新污染物,也可能降解成无害物质。不同污染物同时存在时,可因拮抗作用使毒性降低,或因协同作用使毒性增大。

环境污染物按受污染物影响的环境要素,可分为大气污染物、水体污染物、土壤污染物等;按污染物的形态,可分为气体污染物、液体污染物和固体废物;按对人类社会活动的不同功能产生的污染物,可分为工业污染物、农业污染物、交通运输污染物和生活污染物;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。物理污染物主要涉及一些能量性因素,如放射性、噪声、振动、热能、电磁波等。生物污染物包括细菌、病毒、水体中有毒的或反常生长的藻类等。化学污染物种类繁多,是环境化学研究的主要对象物,由它们引起的环境问题约占 80% ~ 90%。

大气中的化学污染物主要来自于化石燃料的燃烧:①含硫燃料燃烧后产生污染气体 SO_2 ;②燃烧过程中,空气中 N_2 和 O_2 通过链式反应等复杂过程产生各种氮氧化物(以 NO_x 表示);③未经燃烧而散逸的燃料粉末或石油细粒;④燃烧不完全,产生 CO 等中间产物;⑤燃料使用过程中加入添加剂,如汽油中加入铅有机物,作为内燃机汽缸的抗震剂,经燃烧后,铅化合物进入大气。

水体中的主要化学污染物质有如下几类:①有害金属,如 As 、 Cd 、 Cr 、 Cu 、 Hg 、 Pb 、 Zn 等;②有害阴离子,如 CN^- 、 F^- 、 Cl^- 、 Br^- 、 S^{2-} 、 SO_4^{2-} 等;③过量营养物质,如 NH_4^+ 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 等;④有机物,如酚、醛、农药、表面活性剂、多氯联苯、脂肪酸、有机卤化物等。1978 年美国环境保护局(EPA)提出水体中 129 种应予优先考虑的污染物,其中有机污染物占 114 种;⑤放射性物质,如 ^{90}Sr 、 ^{144}Ce 、 ^{232}Th 、 ^{238}U 等核元素。

土壤中的主要化学污染物是农药、肥料、重金属等。

目前已知化学物质总数超过 2 000 万种,且这个数字还在不断增长,其中 6~7 万种是人们日常使用的,而约 7 000 种是工业上大量生产的。进入环境的化学污染物数量也是惊人的,例如仅由于烧煤,世界范围内每年约有 3 000 t 汞进入大气。

一般将地球环境系统分为四个圈层,即大气圈、水圈、土壤圈以及散布于三圈交汇处有生物生存的生物圈。包括自然界产生的和人类活动排放的各种化学物质形成的“化学圈”(Chemospher),覆盖于地球环境系统之上,见图 1。这些圈层主要在太阳能的作用下进行着物质循环和能量流动。

环境化学在环境科学领域中越来越显示其重要的地位和作用。这是因为:

(1)环境化学是环境科学的核心学科。由于大量的局部或全球环境问题都直接或间接与化学物质有关,因此,对许多环境问题的认识与解决离不开环境化学。

(2)可揭示全球环境问题产生的本质。如臭氧损耗、温室效应等问题都是宏观现象,环境化学从微观的原子、分子水平上的研究,阐明了宏观的环境现象和环境变化的原因、过程机制,并提出了防治途径。

(3)可揭示局部环境问题的症结,如富营养化、光化学烟雾、水俣病等,正是通过环境化学的研究,揭示了产生这些问题的原因。

(4)为环境污染的控制提供新理论、新方法。

二、环境化学的研究内容

由于自然环境是一个开放体系,时刻都有能量流和物质流的传递,污染物进入环境后,可迁移转化至大气、水体、岩石、土壤中,也可以为生物体吸收而积累,或通过食物链传递等,因而研究范围可以从地球表面覆盖的矿物到高空中的离子,涉及面广。根据我国多年环境化学教学和科研的经验,认为环境化学覆盖的研究领域和分支学科如表 3 所示。

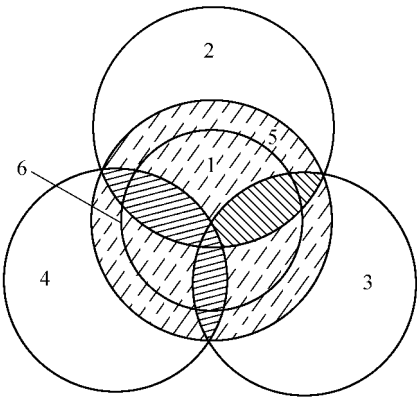


图 1 地球环境中各环境介质与化学圈之间的关系
1—生物圈;2—大气圈;3—水圈;4—土壤圈;5—化学圈;6—环境介质交界面

表 3 环境化学分支学科的划分

研究领域	分支学科
环境分析化学	环境有机分析化学
	环境无机分析化学
各圈层的环境化学	大气环境化学
	水环境化学
	土壤环境化学
污染生态化学	
污染控制化学	大气污染控制化学
	水污染控制化学
	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中化学物质的种类、成分形态(包括状态、结构)及含量。具体而言:①通过环境污染物的分析,可判明环境是否受到污染,了解污染的程度。②分析污染物的存在状态和结构,为防治污染提供依据。因为同种污染物,形态不同,毒性亦不同,如汞毒性的大小顺序为:甲基汞>有机汞>无机汞(其中 $\text{HgCl}_2 > \text{HgCl}$),而吸入少量的汞蒸气可致死;污染物结构不同,降解的难易程度不同,对于烷烃化合物,直链比支链易降解,对于芳香族化合物,若 H 离子被 $-\text{COOH}$ 、 $-\text{OH}$ 取代,则降解速度提高,反之,若 H 离子被 $-\text{Cl}$ 、 $-\text{SO}_3$ 、 $-\text{NO}_2$ 取代,则降解速度下降。另外,苯环上被 $-\text{Cl}$ 、

— SO_3 、— NO_2 等基团取代的数目越多,则越难降解,如一氯苯能 100% 被生物降解,二氯苯只能降解 20% ~ 30%,三氯苯只能降解 10%。③研究环境污染物的分析方法如何实现“高灵敏度”、“高准确性”、“高分辨率”以及“自动化”、“连续化”、“计算机化”。

2. 各圈层的环境化学

各圈层的环境化学研究在全球环境各圈层中化学物质的来源、迁移、所发生的各种物理、化学与生物化学过程的规律,以及人类各种活动所产生的污染物对这些过程的干扰与影响。其分类难以统一,通常分为大气环境化学、水体环境化学和土壤环境化学。它们研究的内容有:

(1) 大气环境化学(也称大气污染化学):大气中化学物质(包括污染物)表征;大气中化学物质的化学过程的研究(主要涉及大气光化学、自由基反应等);对流层、平流层中痕量气体(CO 、 CH_4 、 O_3 、卤代有机物)的研究;大气污染化学模式(光化学烟雾模式、酸性干湿沉降模式等)的研究;室内环境污染、臭氧耗损及全球气候变暖的研究等。

(2) 水环境化学(也称水污染化学):水体界面化学过程的研究;金属元素形态及其转化动力学的研究;有机物化学降解的研究;水中有机物光化学降解研究;有机物迁移转化模型的研究;金属和类金属元素的甲基化研究等。

(3) 土壤环境化学(也称土壤污染化学):土壤中有机物的降解、化学物质在土壤中的迁移;土壤中金属元素存在形态及转化过程的研究(存在形态、土壤固/液界面作用等);土壤中温室气体释放的研究(CH_4 、 CO_2 、 N_2O 等的排放)。

3. 污染生态化学

污染生态化学主要研究化学污染物质引起的生态效应的化学原理、过程和机制,以及污染物在环境中的生物转化规律。宏观上研究化学物质在维持和破坏生态平衡中的基本化学问题,在微观上研究化学物质和生物体相互作用过程的化学机制。它是环境化学、生物学、医学等学科的边缘领域,目前处于发展的初期阶段。

4. 污染控制化学

污染控制化学与环境工程学、化学工程学有密切的关系。它研究与污染控制有关的化学机制与工艺技术中的化学基础性问题,以便最大限度地控制化学污染,为开发高效的污染控制技术和发展清洁工艺提供科学依据。

污染控制目前有两种模式:一种是传统的终端污染控制(end-of-pipe control);另一种是污染预防(pollution-prevention)与清洁生产(cleaner-production)。

(1) 终端污染控制。其研究内容主要包括大气污染控制、水污染控制、固体废弃物污染控制及资源化研究。其中污染控制材料的研究,包括絮凝剂、吸附剂、离子交换剂、膜材料、催化剂、消毒剂等的研究;污染控制技术的研究,包括物理法(如重力沉降、浮选、过滤等)、化学法(如中和、氧化还原、化学凝聚等)、生物法(如生物滤池、活性污泥法等)、物理化学法(如吸附、

电解、离子交换、膜分离等)。终端控制对各国污染控制技术的发展和环境污染治理起着积极的推动作用,但终端控制只能减少或阻止污染物排放,不能阻止污染物的产生。

(2) 污染预防与清洁生产。鉴于终端治理的局限性,20 世纪 80 年代中期,欧美国家提出了污染预防的政策。它强调的是控制污染源的发生,目的是减少甚至消除污染的根源,这是环境管理战略的一次重大转变。污染预防的核心是清洁生产,它包括以下几个具体内容:

- 生产过程的设计尽量采用新工艺,使原材料最大限度地转换为产品,能源得到最有效的利用,废物的排放最少化;
- 采用无污染、少污染、低噪声、节省原料和能源的高技术装备,代替那些严重污染环境、浪费资源、能源的陈旧设备;
- 尽量使用无毒、无害、低毒、低害原料,替代有害的原料;
- 采用合理的产品设计,发展换代型的对环境无污染、少污染、环境兼容和可回收利用的新产品。

三、环境化学的特点和研究方法

环境化学是环境与化学的综合和交叉,它渊源于化学,但又不同于原来的化学学科,因而必须从环境的角度来考虑问题。现代环境化学研究的特点体现在以下几个方面:

(1) 研究体系复杂。环境中的污染物一般是人工合成物和天然污染物共存,有无机的、有机的污染物,有气态的、液态的、固态的、胶态的污染物。污染物附着的基体也多种多样,有附着在空气中、土壤中、水中、底泥中,也有附着在动物组织上和食品上。而且,各种污染物在环境中可以发生化学反应或物理变化,即使是一种化学污染物,所含的元素也有不同的化合价和化合态的变化。这就决定了环境化学的研究对象是一个多组分、多介质的复杂体系。

(2) 环境样品量微。污染物一旦排放到环境中,很快就被各种自然因素稀释而冲淡,多以痕量或超痕量存在,一般只有 10^{-6} 或 10^{-9} 级水平,有的甚至低到 10^{-12} 级水平,用一般的化学分析方法较难检测。它们分布广泛,迁移转化速度较快,且在不同的时空条件下有明显的动态变化。为了获得化学污染物在环境中的含量和污染程度,不仅要对其快速测定或连续测定,而且还要对其毒性和影响作出鉴定。

(3) 从微观的原子、分子水平来阐明宏观的环境问题,以小见大,不再拘泥于对环境问题的宏观描述,而从深层的机制去理解和解决问题。如研究化学污染物在环境中的迁移、转化和归宿,特别是污染物在环境中的积累、相互作用和生物效应等问题,包括化学污染物致畸、致突变、致癌作用的机理,化学物质的结构与毒性之间的相关关系,多种污染物在食物链传送中的生化过程等问题。

(4) 综合性强,涉及多学科领域。环境化学学科本身是边缘科学,继承了各个前导学科的理论和技术,以解决实际的环境问题,并在发展过程中交流各学科的新思路、新理论、新方法。这种多学科、多介质、多层次的研究,不仅大大丰富了环境化学研究的内容,也为环境化学提供

了许多新的研究领域。

环境化学的研究方法一般可以概括为以下四类：

(1) 现场实测。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，同步检测污染物变化规律，有地面监测、航测等。

(2) 实验室研究。包括环境物质分析、基础研究(基元反应等)、基础物性数据测定等。

(3) 实验模拟系统研究。自然环境通常处于变化不定的状态，各种因素每时每刻都发生变化，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、多种物质存在下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。在大气环境化学研究中，实验模拟系统通常是所谓的“烟雾箱”(smogchamber)。在水、土壤环境化学研究中，实验模拟系统通常是所谓的微生态系统，也称微宇宙系统或模拟生态系统。

(4) 计算机模拟研究。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，可通过数学模型——模式的建立和运转，检测实测结果的可信度，并预测污染的发展趋势。

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。

第三节 环境化学的发展动向

环境化学近年取得了长足的进展，主要表现在：从单项的、单介质的研究转向多项的、多介质的系统研究；研究的范围日益扩大，全球性、跨国界的区域性环境化学问题成为首要对象，国际间的合作日益加强；科学技术、信息产业的高速发展，促使环境化学理论水平不断深化，相关实用技术向高新技术方向发展，在环境监测及污染控制技术方面的表现尤为突出；由于自然、社会环境的复杂性、系统性，环境化学不断与其他学科交叉、渗透，并与环境科学其他方面朝一体化或系列化方向发展；宏观与微观相结合、静态与动态相结合、简单与复杂相结合，系统地分析、解决问题是环境化学解决各类问题的总体思路及方向。下面按分支学科对发展动向做一简介。

一、环境分析化学方面

环境分析化学需解决的关键问题有：样品采集、保存等前处理问题，形态分析、现场实时分析监测(包括快速响应)以及对难挥发性化合物、强极性化合物的分析等。目前环境分析化学的发展重心转向环境中微量、痕量有害化合物的分析，主要是“三致”有机化合物的痕量、超痕

量分析,如饮用水、室内空气中剧毒化学物质,有机氮和有机磷农药及除草剂,因工业废气及固体废弃物分解、挥发、燃烧等产生的芳烃、挥发烃、酯、醛等有机组分等。与之发展相应的是,环境分析灵敏度平均每 10 年提高 3 个数量级。20 世纪 90 年代痕量分析已达 10^{-9} 数量级,超痕量分析可检出 10^{-12} mg/L 的物质,毛细管电泳、毛细管免疫测定法、超微电极相结合可使检出限降至 10^{-18} mg/L,这就使单分子、原子的监测将成为可能。

环境分析的自身特点要求环境分析仪器可靠、灵敏、快速、简便且小型化。1998 年,美国匹兹堡会议上出现的毛细管便携式色谱,几分钟内可测定 100 多种元素,标志着色谱在线监测已达到实用水平。进一步将毛细管电泳缩微芯片用于微量全分析是色谱在线监测的新发展方向。应用微机械技术大批量生产的廉价“微全分析系统 (μ TAS)”,可一次自动实现包括取样、预处理、样品转移、化学反应、待测物分离、测定、产品分离和数据处理等所有分析步骤。 μ TAS 不仅减少了试剂、载体用量,节约了监测成本,减少了污染,而且分析高效、可靠,操作简单。

大量微型化、高灵敏度传感器因符合环境分析化学的发展需要,更是应运而生。在 1999 年的美国匹兹堡分析化学与应用光谱学术会议上展示了生物传感器、电化学传感器、表面声波传感器、光-电-化学合为一体的传感器。目前应用已较为成熟的还有光导纤维传感器、多孔硅传感器、电流微传感器等。利用核酸分子间的特异性互补配对规律,研究基因片断实现快速分析的新方法——DNA 生物传感器已成为当今生物传感器中的前沿性课题。电化学 DNA 芯片具有小型和多道化的特点,可同时获得数以千万计的信号。应用高新技术(如激光、微波、分子束和核技术等)使原来的分析方法、步骤或程序从根本上有所革新,将是今后环境分析化学发展的主要方向。

二、大气、水体、土壤污染化学方面

在大气污染化学方面,臭氧洞的形成、成因以及如何保护臭氧层,已是当今全球性环境问题的热点。对臭氧空洞形成的解释,还必须研究大气气溶胶表征、吸附特性及催化作用等非均相表面化学过程;对臭氧化学变化过程的研究,需更好地了解大气组成变化的基本过程,大气圈、生物圈以及气候过程的相互作用。为减少臭氧耗损,寻找调控臭氧的最佳条件,化学工作者正在对超细颗粒物低温反应的储库化合物与活性物种的低温催化失活反应特性等进行研究。

我国酸雨的主要成因是 SO_2 , 总悬浮颗粒物(TSP)与煤烟型大气污染紧密相关。我国在区域酸沉降模式和酸雨成因、能源与环境协调规划、酸雨区域综合防治和临界负荷等方面的研究成果已达到国际先进水平。而西方国家更为关注的则是建立区域性监测网或计算机模拟,以测定或演示长距离、跨国界的酸雨物质输送。

甲烷、 CO_2 是温室气体的最主要成分,研究这两种气体的有效利用是碳化学的主攻方向。日本学者在等离子体甲烷转化方面取得了实质性进展; CO_2 回收、深埋及利用和合成气化学的研究吸引了学术界的普遍关注。室内空气污染问题近年来也成为研究的热点,对人体健康有