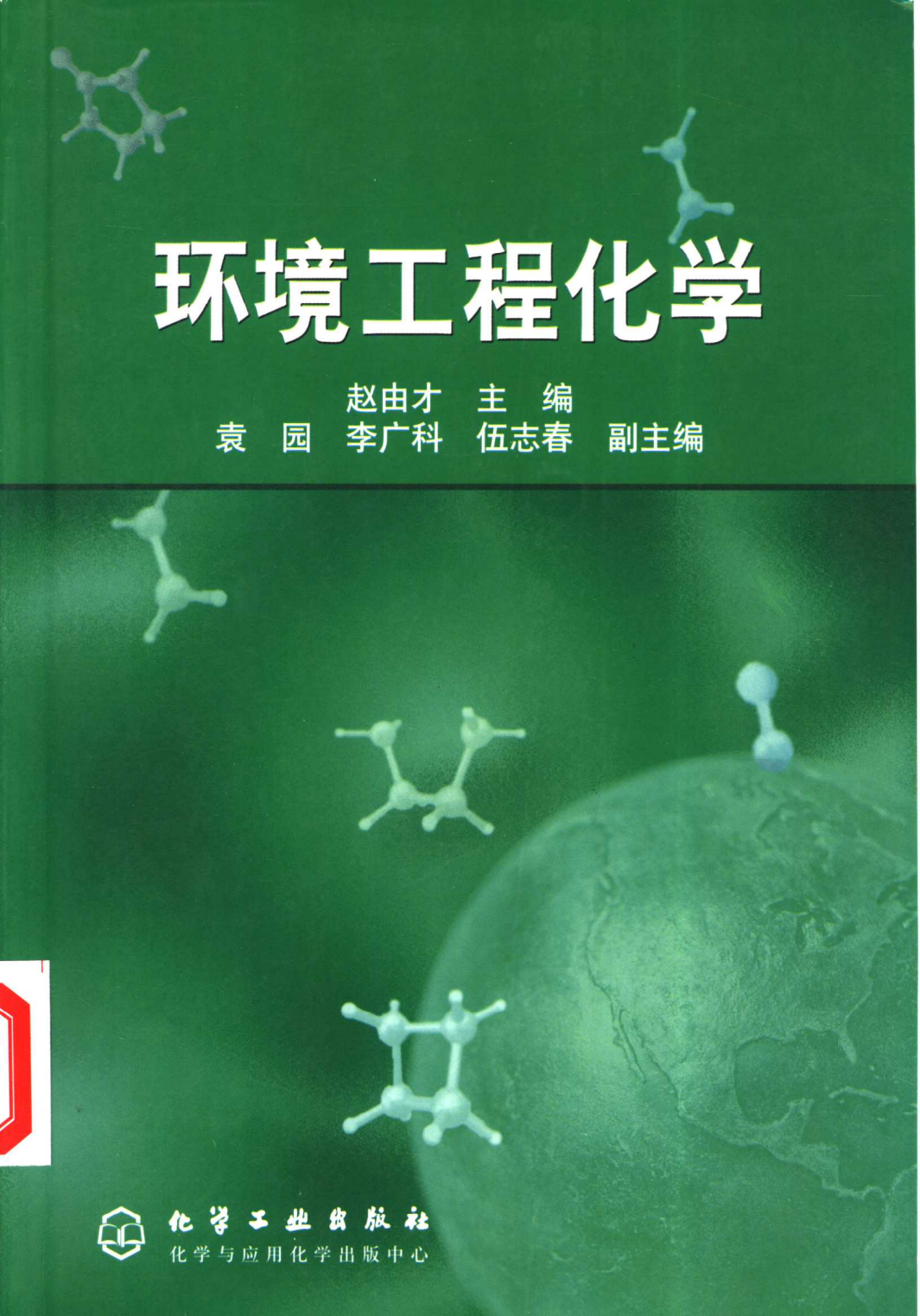




环境工程化学

赵由才 主 编
袁 园 李广科 伍志春 副主编



化学工业出版社

化学与应用化学出版中心

X13
C348

环境工程化学

赵由才 主编

袁 园 李广科 伍志春 副主编

化学工业出版社

化学与应用化学出版中心

·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

环境工程化学/赵由才主编. —北京: 化学工业出版社, 2003. 6
ISBN 7-5025-4466-6

I. 环… II. 赵… III. 环境化学 IV. X13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 040477 号

环境工程化学

赵由才 主编

袁 园 李广科 伍志春 副主编

责任编辑: 杜进祥 任惠敏

责任校对: 凌亚男

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行
化学与应用化学出版中心

(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

北京市彩桥印刷厂印刷

三河市延风装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 20½ 字数 558 千字

2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4466-6/X·291

定 价: 43.00 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

化学是环境工程的基础学科之一。环境工程化学是描述在环境工程学科中所应用的化学原理、化学过程和化学工艺，是环境工程与基础化学的结合。

化学和化学工程的发展为人类创造了巨大的物质财富，同时也给人类和生物圈的其它生物带来了严重的环境破坏。环境工程的一个十分重要的目标就是防治化学污染物对环境的危害。

化学污染物种类很多，其处理方法也有多种，基本原理是把对环境有毒有害的污染物转化为无毒无害的物质。这种转化过程事实上与化学有非常密切的关系。近代才出现的环境工程学科，核心内容就是利用物理、化学和生物知识防治环境污染。一种有机污染物的治理，首先考虑的是生物方法，如果生物方法不可行或处理效果达不到预期效果，就要考虑化学或物理方法。

本书比较全面系统地描述了环境工程基本单元所涉及的化学知识，有机和无机污染物的形态分析，有机污染物的降解与转化过程，重金属的分离，特别是环境工程处理单元的化学动力学、化学热力学、电化学等。

本书可供从事化学、环境工程、环境科学、化工冶金等学科的人员参考，也可以作为各类大中专学校的专业培训教材。

参加本书编写的有杨义江（第一章），李广科、桑楠（第二章第一节和第二节），杨义江（第二章第三节），李光明、何毅、张亚雷、王华、张蓓（第三章），王敏（第四章），周琪（第五章），欧远洋（第六章），黄天寅、宋立杰（第七章），兰吉武（第八章第一节～第四节）、宋立杰、兰吉武、赵由才（第八章第五节），楼紫阳（第九章第三节、第四节、第五节、第七节）、曹伟华（第九章第一节、第二节、第六节），陈玲（第十章）。全书由赵由才任主编，袁

园、李广科和伍志春任副主编，负责统稿。

本书受到国家自然科学基金项目(No. 20177014, No. 59778016, No. 29777019, No. 20007002)的部分资助。

赵由才 袁 园

2003 年 4 月于同济大学污染控制与
资源化研究国家重点实验室

内 容 提 要

本书主要介绍环境工程学科中所应用的化学原理、化学过程和化学工艺,是环境工程与基础化学的结合。全书共分 10 章,包括绪论、环境工程基础、环境工程化学基础、典型水处理工艺中的化学热力学和动力学、重金属废水的污染控制化学、脱氮除磷过程化学、工业固体废物污染控制化学、有机固体废物的污染控制化学、废气治理过程化学、环境影响评价与环境监测等。

本书可供化学、环境工程、环境科学、化工冶金等领域的科技人员阅读,也可供大中专院校相关专业师生参考。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 环境问题	1
一、环境问题及其发展过程	1
二、对环境问题认识的过程	2
三、当前面临的主要环境问题	4
第二节 环境污染物	8
一、环境污染物的定义	8
二、环境污染物的分类	9
三、环境污染物的环境效应	10
四、环境污染物的迁移转化过程	11
第三节 环境工程化学	16
一、环境化学	16
二、环境工程化学的定义	17
三、环境工程化学的研究内容	17
四、环境工程化学的特点	25
五、环境工程化学的研究方法	26
六、环境工程化学的发展动态	28
第二章 环境工程基础	30
第一节 概 论	30
一、环境工程的定义	30
二、环境工程学的任务及主要内容	32
三、环境伦理及环境工作人员的职业素质	33
第二节 水污染控制工程	35
一、水的循环与水污染	35
二、水的自净能力和水环境容量	38
三、水质指标	39
四、水处理的基本原则和方法	39

五、水的物化处理	41
六、水的生物化学处理	42
七、污、废水回用的经济政策和途径	55
八、给水和废水处理工程系统的设计基础	59
第三节 固体废物污染控制与资源化工程	60
一、固体废物的定义和特性	60
二、固体废物的来源	61
三、城市生活垃圾处理和处置方法	63
四、我国当前在固体废物处理与资源化方面的发展方向	71
五、重要固体废物资源化设备	83
六、废橡胶的处理和利用	89
七、废机电和废家电管理与处理技术	92
八、废汽车的回收与处理	94
第四节 大气污染控制工程	95
一、大气污染	95
二、除尘净化技术	96
三、吸收净化技术	102
四、吸附净化技术	105
五、催化净化技术	109
六、等离子体净化技术	117
七、膜分离净化技术	120
八、生物净化技术	125
第三章 环境工程化学基础	131
第一节 主要无机污染物的物理、化学与生物性质	131
一、无机酸、碱和盐污染物	131
二、氧化物类污染物	135
三、重金属类无机污染物	139
第二节 主要有机污染物的物理、化学和生物性质	144
一、来源	145
二、分类	146
三、主要有机污染物的来源及物理、化学和生物性质	151
第三节 氮与磷在环境中的循环过程	165
一、氮在循环过程	165

二、在环境中的循环过程	176
第四节 各种重要化合物在环境中的环境行为和生态效应	179
一、有机化合物的环境行为与生态效应	179
二、非金属化合物的环境行为与生态效应	188
三、重金属化合物的环境行为与生态效应	196
第五节 污染物的分离原理与技术	204
一、萃取法	204
二、吸附法	208
三、离子交换法	212
四、膜分离法	217
第六节 混凝与絮凝机理	222
一、混凝原理	222
二、混凝剂	225
三、影响混凝效果的主要因素及混凝工艺过程	231
四、微生物絮凝剂	233
第四章 典型水处理工艺中的化学热力学和动力学	238
第一节 化学热力学	238
一、热力学体系	238
二、热力学第一定律	239
三、化学反应的热效应与焓变	240
四、熵	242
五、自由能及平衡	244
第二节 化学反应动力学基础	247
一、反应速度和反应级数	248
二、各种反应的动力学方程	249
三、温度对反应速度的影响	258
第三节 酶反应动力学与微生物生长动力学	259
一、酶促反应的动力学	259
二、微生物增长动力学	263
第四节 反应器动力学	265
一、间歇反应器又称序批式反应器	266
二、活塞流反应器	267
三、完全混合反应器	268

四、 n 级串联的连续流搅拌器	269
第五节 生物处理动力学	271
一、好氧动力学	272
二、厌氧过程动力学	285
三、缺氧过程动力学	287
四、废水处理中新工艺的动力学	290
第五章 重金属废水的污染控制化学	300
第一节 重金属废水中重金属的形态与环境行为	300
第二节 废水中典型重金属的分离动力学	305
一、化学反应热力学与动力学的概念	305
二、吸附的反应动力学	305
三、浮选的反应动力学	308
四、萃取的化学反应动力学	309
第三节 重金属废水的胶体化学	310
一、胶体的特性	310
二、胶体的结构	311
三、胶体的稳定和脱稳	313
四、胶体化学用于重金属离子废水的处理	314
第四节 浮选过程化学	316
一、浮选法的基本概念和类型	316
二、离子浮选法	317
三、沉淀浮选法	318
四、吸附浮选法	320
五、电解浮选法	322
第五节 溶剂萃取化学	323
一、溶剂萃取的基本概念和原理	323
二、溶剂萃取的应用理论	325
三、萃取剂	326
四、萃取工艺设备	328
五、基于液-液萃取的新型分离技术	329
第六节 离子交换化学	330
一、离子交换树脂	331
二、离子交换纤维	334

三、地质材料作为离子交换体	335
四、生物质作为离子交换体	340
第七节 其它处理方法	342
一、中和	342
二、化学沉淀	343
三、吸附	345
四、电解	347
五、蒸发	349
六、生物处理	349
第六章 脱氮除磷过程化学	351
第一节 脱 氮	351
一、废水中的氮问题	351
二、生物脱氮	352
三、大气中的氮化物问题	365
第二节 除 磷	366
一、概述	366
二、除磷方法与机理	368
三、污水生物除磷工艺及性能	384
四、影响生物除磷效率的因素	393
第七章 工业固体废物污染控制化学	395
第一节 工业固体废物化学性质	395
一、钢铁冶金工业固体废物	395
二、有色冶金工业固体废物	401
三、化学工业固体废物	404
四、电力工业固体废物	412
第二节 重金属废物的固化与稳定化	416
一、包胶固化	417
二、玻璃固化	427
三、自胶结固化	428
第三节 废电池处理过程化学	429
一、电池的种类和成分	430
二、废电池的处理	434
第四节 废汽车处理过程化学	439

一、报废汽车中金属材料的回收	439
二、报废汽车中非金属材料的回收	441
第八章 有机固体废物的污染控制化学	446
第一节 固体废物	446
第二节 填埋场中的生物降解化学	448
一、卫生填埋场垃圾的降解过程	448
二、填埋场固相、液气相反应的特点	449
三、卫生填埋场内的微生物种类	452
四、影响垃圾降解的因素	453
五、矿化垃圾的开采与利用	454
第三节 堆肥的稳定化过程及其生物化学	456
一、堆肥的稳定化过程	456
二、堆肥过程生物化学	457
第四节 厌氧消化过程生物化学	464
一、厌氧消化过程生物化学	464
二、厌氧消化的反应热力学	473
三、厌氧降解的动力学	474
四、消化细菌群及其影响因素	476
第五节 焚烧过程污染控制化学	482
一、焚烧热平衡	482
二、尾气处理化学	485
三、垃圾焚烧飞灰的稳定化处理	502
第九章 废气治理过程化学	512
第一节 SO_2 治 理	513
一、S 和 N 的氧化还原反应	513
二、 SO_2 的来源	514
三、 SO_2 在大气中的反应	515
四、 SO_2 的治理概况	516
五、石灰-石灰石法	519
六、其它湿法脱硫	522
七、其它干法脱硫	525
八、其它半干法脱硫	527
第二节 NO_x 控 制	527

一、与 SO_x 的比较	527
二、 NO_x 性质及在大气中的反应	528
三、燃烧时 NO_x 形成机制	530
四、 NO_x 控制	532
第三节 挥发性有机物 (VOC)	536
一、VOC 的定义及分类	537
二、VOC 控制方法	538
三、研究和开发的方法	543
第四节 汽车尾气	547
一、汽车尾气的危害	547
二、尾气的成因	548
三、治理方法	551
第五节 恶 臭	557
一、恶臭的性质	558
二、恶臭的治理方法	559
第六节 硫化氢气体的治理	565
一、硫化氢的主要性质	565
二、治理方法	566
第七节 含氟废气的治理	569
一、来源与危害	569
二、治理	569
第八节 含氟废气的处理	575
一、来源与危害	575
二、治理	575
第九节 CO 的治理	579
一、 CO 的来源	579
二、 CO 的治理	580
第十章 环境影响评价与环境监测	582
第一节 概 述	582
一、环境影响及环境影响评价	582
二、环境影响评价制度	582
三、环境监测与环境影响评价	583
第二节 环境监测的原则	584

一、对检测数据的基本要求	584
二、人力和物力资源的节省原则	585
三、注意施工期间的环境影响监测	586
四、注意项目建成后的长期监测计划	586
第三节 环境监测的方法	586
一、环境现状调查的范围	586
二、监测内容的确定	589
三、监测点和频率的布设方法	593
四、样品的保存	600
第四节 分析方法	605
一、大气污染物分析	606
二、水中有机污染物分析	613
第五节 样品预处理技术	624
一、样品的消解	625
二、样品富集与分离	627
主要参考文献	639

第一章 绪 论

第一节 环境问题

一、环境问题及其发展过程

环境问题主要是指在全球环境或区域环境中出现了不利于人类生存和发展的现象。它是当前世界上人类面临的几个重要问题之一。环境是人类生存和发展的物质基础。环境问题的出现和日益严重，则引起人们的重视，同时也就促进了环境科学研究工作的发展。

人类是环境的产物，又是环境的改造者。人类在同自然界的斗争中，运用自己的知识，通过劳动，不断地改造自然，创造新的生存条件。然而，由于人类认识能力和科学技术水平的限制，在改造环境的过程中，往往会产生当时意料不到的后果，而造成环境污染和破坏。环境问题的形成是多方面的，但目前所指的环境问题并非只限于环境污染，主要是人类利用环境不当和在人类社会发展中与环境不相协调所致。环境问题的内容也涉及各个方面，如环境污染、生态破坏、人口急剧增加和资源的破坏与枯竭等等。

关于环境问题的的发展过程，要从产业革命说起。产业革命后，蒸汽机的发明和广泛应用使生产力大为提高。这样，使一些工业发达的城市和工矿区，人口密集，物流量增大，燃煤量急剧增加，以大气污染为主的环境问题不断发生。如 1873、1880、1882、1891、1892 年英国伦敦曾多次发生此类事件。1930 年 12 月比利时马斯河谷工业区由于工厂排出有害气体，在逆温条件下造成了严重的大气污染事件，使几千人发病，60 人死亡。农业生产活动不当造成的生态环境破坏可以美国为例。1934 年 5 月美国发生了一次席卷半个国家的特大沙尘暴，从西部干旱草原地区几个州的开垦土地上卷

起大量尘土，以 96~160km/h 的速度向东推进，最后消失在大西洋上。这次风暴刮走西部草原 3 亿多吨土壤，是美国历史上一次重大灾难。其原因是开垦了不宜开垦的干旱草原所致。此后美国各地开展了大规模的农业环境保护运动。

第二次世界大战以后，世界社会生产力突飞猛进。工业动力的使用和产品种类、产品数量急剧增加；农业开垦的强度和农药使用的数量也迅速增长，致使许多国家普遍发生了现代工业、农业发展带来的，范围更大、情况更加严重的环境污染问题和生态破坏问题，威胁着人类的生存和持续发展。如 1952 年 12 月英国伦敦出现了另一种类型的严重的烟雾事件，在短短四天内比常年同期死亡人数多 4000 人，成为有名的世界八大公害事件之一。在日本接连出现了水俣病、痛痛病、四日市哮喘等震惊世界的公害事件。经查明，这些全是工业排放的废水、废气，污染了环境所造成的。世界上随着煤、石油的消耗量急剧增大，不仅使许多地区，如北欧、北美出现了酸雨危害，而使全球大气中的二氧化碳量亦逐渐增多，这从理论上来说会使地球的“温室效应”增强。再从目前南极等地上空的臭氧层空洞逐年扩大，在南、北极的冰层中都发现了各类污染物来说，则当前的环境污染问题已扩展到全球的范围，这是当前环境问题的一个突出特点，即普遍性与全球性。

到了 20 世纪 70 年代，除了一般的环境污染问题外，地球上人类生存环境所必需的生态条件正在趋于恶化。如人口的大幅度增长，森林的过度采伐，沙漠化面积的扩大，水土流失的加剧，加上许多不可更新资源的过度消耗，都向当代社会 and 世界经济提出了严重的挑战。

二、对环境问题认识的过程

人们对现代环境问题的认识有一个渐进的发展过程。

在 20 世纪 60 年代人们把环境问题只当成一个污染问题，认为环境污染主要指的是城市和工农业发展带来的对大气、水质、土壤、固体废弃物和噪声的污染。环境保护以污染控制为中心，没有把环境问题与自然生态联系起来，对土地沙化、热带森林破坏和野

生动物某些品种的濒危灭绝等并未从战略上予以重视。低估了环境污染的危害性和复杂性；没有把环境污染与社会因素相联系，未能追根寻源。

1962年美国生物学家R·卡逊的《寂静的春天》一书的出版，使人们清醒地认识在农业发展中杀虫剂污染带来的严重后果。书中通过对污染物迁移、转化的描写，阐明了人类同大气、海洋、河流、土壤、动物和植物间的密切关系，揭示了污染对生态系统的影响，提出了人类环境中的生态破坏问题。20世纪60年代末，意大利、瑞士、日本、美国、德国等10个国家的30位科学家，在意大利开会讨论人类当前和未来的环境问题，并委托美国麻省理工学院利用系统动态学分析法，研究了人口、农业生产、自然资源、工业生产和环境污染五个因素的内在联系，于1972年发表了《增长的极限》一书。

到了20世纪70年代，人们又进一步认识到除了环境污染问题外，地球上人类生存环境所必需的生态条件正在趋于恶化，如人口问题、资源问题、生态破坏问题和环境污染问题。在此期间，联合国及其有关机构召开了一系列会议，探讨人类面临的环境问题。

1972年联合国在瑞典首都斯德哥尔摩召开了人类环境会议。会议发表的人类环境宣言中明确指出环境问题不仅表现在水、气、土壤等的污染已达到危险程度，而且表现在对生态的破坏和资源的枯竭；同时宣告一部分环境问题是由于贫穷造成的，并明确提出发展中国家要在发展中解决环境问题。这是作为联合国组织第一次把环境问题与社会因素联系起来。会后正式组建了联合国环境规划署(UNEP)。此次会议可说是人类认识环境问题的一个里程碑。然而，它并未从战略高度指明防治环境问题的根本途径，没有明确解决环境问题的责任，没有强调需要全球的共同行动。

20世纪80年代对环境的认识有新的突破性发展，提出持续发展战略。由挪威前首相布伦特兰夫人任主席的联合国世界环境与发展委员会，组织来自21个国家的著名专家学者到各国实地考察后，于1987年4月发表了题为“我们共同的未来”的长篇报告。在