

污 染

杨智宽 韦进宝 编著

控制化学

武汉大学出版社

污 染 控 制 化 学

杨智宽 韦进宝 编著

1000110

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

污染控制化学/杨智宽, 韦进宝编著. —武汉: 武汉大学出版社, 1998. 9

ISBN 7-307-02594-9

I 污…

II ①杨… ②韦…

III ①污染控制—化学 ②化学—应用—污染控制

IV X131

武汉大学出版社出版

(430072 武昌 珞珈山)

湖北省石首市第二印刷厂印刷

(434402 湖北省石首市横沟市振兴路1号)

新华书店湖北发行所发行

1998年9月第1版 1998年9月第1次印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 15.875

字数: 410千字 印数: 1—2000

ISBN 7-307-02594-9/X·5 定价: 16.80元

本书如有印装质量问题, 请寄承印厂调换

前 言

环境污染已成为当今全球最为关注的问题之一，“控制污染，保护环境”已是全人类共同的呼声。环境保护的关键是对污染物的有效控制和治理。

综观当代的环境污染及其综合治理问题大都与化学密切相关。环境污染控制化学是研究造成环境污染的化学污染物的控制和治理的科学，它侧重研究污染控制和治理过程中的有关化学问题，是环境科学的重要组成部分。环境科学的主要目的是控制污染，保护环境，保持人类社会持续、协调、稳定地发展。化学污染是造成环境污染的主要因素，而污染物的化学控制和治理又是控制污染，保护环境的重要途径之一。

污染控制化学是一门新兴的边缘学科，包括的内容相当广泛，与多学科有着紧密的联系。要解决某些污染问题，往往需要多学科的综合应用，控制污染的方法也很多。污染控制化学研究的主要内容包括污染控制材料和技术，如絮凝剂、萃取剂、离子交换剂、催化剂、分离膜、吸附剂、其它处理药剂及相关技术；污染控制过程的化学研究，如污染控制过程中的催化、降解、诱发氧化、光解、辐照、自由基反应等化学反应机理；探索现代污染控制与预防中的新思想、新概念、新技术、新方法，推行“清洁生产”，无废少废和废弃物综合利用等。

全书共分十一章，书中论述了污染控制过程中一些常用方法的化学、物理化学及生物化学的基本原理，内容包括酸碱性污染物的治理、沉淀与絮凝分离、吸附和吸收、溶剂萃取、离子交

换、膜分离、氧化还原、生物处理、重要污染物的化学治理及清洁生产等，较系统、全面地介绍了在污染控制和治理中所应用的一些处理技术及其有关的化学基本理论、基本概念和基本方法，为深入学习和研究环境污染控制打下良好的基础。

本书是在多年教学实践的基础上编写的。取材新颖、阐述全面、系统，在对有关基本理论的论述时力求理论联系实际，简明扼要，重点突出，在介绍每一种控制方法时，除阐明基本原理和方法要点外，还引用较多的国内外一些较成熟的污染控制技术实例，书后附录有各种水质标准、大气质量标准及土壤质量标准，具有较大的实用性。本书可作为环境学专业本科生专业课教材，也可作为非环境学专业本科生，研究生选修课的教材。对于从事污染防治和控制的工程技术人员也具有较大的参考价值。

由于污染控制化学是一门新兴的边缘学科，更限于编者的理论水平和实际经验，书中难免会存在不少缺点、错误和不足之处，恳请读者给予批评指正。

本书在编写和出版过程中得到武汉大学出版社、武汉大学环境科学系有关领导及老师的大力支持和帮助，在此谨致谢意。

编 者

1997.9.

目 录

第一章 环境质量与环境标准	1
1.1 环境质量	1
1.1.1 环境的概念	1
1.1.2 环境的基本类型	1
1.1.3 环境质量的含义	2
1.1.4 环境质量问题	3
1.2 环境标准	5
1.2.1 概述	5
1.2.2 我国环境保护标准体系	6
1.3 水质指标与水质标准	7
1.3.1 水质指标	7
1.3.2 水质标准	8
1.4 大气环境与质量标准	11
1.4.1 大气环境与大气污染	11
1.4.2 环境空气质量控制标准	12
1.5 土壤环境	13
1.5.1 土壤的概念及组成	13
1.5.2 土壤环境的特点	15
1.5.3 土壤污染	16
1.5.4 土壤环境质量标准	17
第二章 酸、碱反应在污染控制中的应用	19
2.1 酸、碱反应	19

2.2	酸性废水处理	19
2.2.1	酸性废水来源及特性	19
2.2.2	酸性废水处理	20
2.3	碱性废水处理	22
2.3.1	碱性废水来源	22
2.3.2	碱性废水处理	25
2.4	中和法在重金属废水处理中的应用	35
2.4.1	废水来源及处理方法	35
2.4.2	氢氧化物沉淀法原理	36
2.4.3	常用的控制溶液 pH 值的方法	39
第三章 化学沉淀与絮凝分离		43
3.1	污染控制中常用的化学沉淀法	43
3.1.1	硫化物沉淀法	43
3.1.2	磷酸盐沉淀法	46
3.1.3	还原沉淀法	47
3.2	絮凝过程机理	48
3.2.1	DLVO 理论	49
3.2.2	胶体的捕集	54
3.2.3	双电层的压缩	55
3.2.4	电荷中和作用	59
3.2.5	架桥吸附作用	61
3.3	絮凝剂	64
3.3.1	絮凝剂的定义	64
3.3.2	絮凝剂的分类	66
3.3.3	絮凝值与感胶离子序	68
3.3.4	絮凝剂的基本性质	72
3.4	影响絮凝作用的因素	86
3.4.1	温度的影响	86
3.4.2	pH 值的影响	87
3.4.3	搅拌强度和时间的影响	89

3.4.4	絮凝剂的用量的影响	90
3.4.5	絮凝剂的性质和结构的影响	91
3.4.6	共存盐类的影响	92
第四章	吸附与吸收净化	94
4.1	吸附法净化气态污染物的原理	94
4.1.1	固体表面上的吸附作用	94
4.1.2	吸附等温方程	99
4.1.3	吸附速度方程	108
4.2	废水的吸附净化原理	111
4.2.1	固体表面对溶液中溶质的吸附	111
4.2.2	吸附平衡与等温方程	112
4.2.3	影响吸附过程的主要因素	114
4.3	固体吸附剂	116
4.4	气态污染物的吸收净化	120
4.4.1	吸收平衡	120
4.4.2	吸收剂的选择及富液的处理	125
4.4.3	废气吸收净化的实例	127
4.5	挥发性污染物的吹脱净化	130
4.6	泡沫吸附净化法	133
4.6.1	表面张力与表面吸附	134
4.6.2	润湿与浮选	138
第五章	溶剂萃取分离	144
5.1	萃取化学基本概念	144
5.1.1	萃取平衡与分配定律	144
5.1.2	萃取剂的性质与种类	149
5.2	污染控制过程中常用萃取体系	151
5.2.1	中性配合萃取体系	151
5.2.2	酸性配合和螯合萃取体系	157
5.2.3	胺类萃取体系	164

5.2.4	协同萃取体系	168
5.3	萃取分离技术	179
5.3.1	单级萃取	179
5.3.2	多级萃取分离	180
5.4	污染物的萃取处理	188
5.4.1	含重金属污染物的处理	188
5.4.2	含酚废水的萃取处理	192
第六章	离子交换处理法	195
6.1	离子交换剂的类型和基本性质	195
6.2	离子交换平衡	200
6.2.1	离子交换基本反应	200
6.2.2	离子交换反应机理	201
6.2.3	离子交换平衡	202
6.3	离子交换技术	207
6.3.1	树脂的选择及处理	208
6.3.2	离子交换的操作步骤	211
6.4	离子交换法在污染治理中的应用	216
6.4.1	含汞废水的处理	216
6.4.2	电镀含铬废水的处理	218
6.4.3	含铜废水的处理	222
第七章	膜分离技术	227
7.1	概述	227
7.1.1	膜的特征与类型	227
7.1.2	膜分离过程	229
7.2	电渗析	231
7.2.1	电渗析基本原理	231
7.2.2	离子交换膜	232
7.2.3	离子交换膜的选择性透过机理	235
7.2.4	电渗析技术在水处理中的应用	240

7.3	反渗透	242
7.3.1	反渗透过程基本原理	242
7.3.2	反渗透膜的透过机理	243
7.3.3	反渗透技术在环境工程上的应用	246
7.4	超滤和微滤技术	248
7.4.1	超滤和微滤的原理	248
7.4.2	超滤和微滤用膜	249
7.4.3	超滤及微滤处理废水	249
7.5	液膜分离	251
7.5.1	概述	251
7.5.2	液膜法处理废水的机理	255
7.5.3	流动载体的类型及特征	259
7.5.4	液膜分离操作	265
7.6	液膜法在废水处理中的应用	266
7.6.1	液膜法脱酚	267
7.6.2	重金属废水处理	271
7.6.3	含 NH_3 , PO_4^{3-} , NO_3^- 等废水的处理	274
7.6.4	分离净化气体	275
第八章	污染物的氧化还原处理	280
8.1	污染治理中常用的化学氧化法	280
8.1.1	空气氧化法	280
8.1.2	臭氧氧化法	281
8.1.3	氯化氧化法	285
8.1.4	高锰酸盐氧化法	291
8.1.5	过氧化氢氧化法	292
8.2	铁氧体法处理重金属废水	298
8.2.1	铁氧体的形成机理	298
8.2.2	影响铁氧体生成的因素	301
8.2.3	铁氧体工艺的应用	303
8.3	还原法	304

8.3.1	含铬废水的还原处理	305
8.3.2	化学还原法处理酸性镀铜废水	310
8.4	电解氧化还原法	311
8.5	光化学氧化法	313
8.5.1	光氧化基本原理	314
8.5.2	光氧化在净化水和处理废水中的应用	316
8.5.3	光敏化氧化	323
8.5.4	均相染料光敏化氧化处理污水	327
8.5.5	非均相染料光敏化氧化酚类废水	330
8.6	辐射化学氧化法	332
8.6.1	辐射氧化基本原理	332
8.6.2	污染物的辐照处理	335
8.7	燃烧法	338
8.7.1	气态污染物的燃烧	339
8.7.2	污泥湿式燃烧	344
8.7.3	固体废弃物的焚烧	350
第九章	污染物的生物处理	353
9.1	污染物的生物降解作用	353
9.1.1	不含氮有机物的降解	354
9.1.2	含氮有机物质的降解	359
9.1.3	无机物的转化	364
9.2	好氧生物处理	368
9.2.1	基本原理	368
9.2.2	活性污泥法	371
9.2.3	生物膜法	376
9.3	厌氧生物处理	378
9.3.1	基本原理	378
9.3.2	厌氧生物处理的工艺条件	380
9.4	其他类型的生物处理法	383
9.4.1	氧化塘法	383

9.4.2	污水灌溉处理法	384
第十章	重要污染物的化学治理	388
10.1	重金属污染物的治理	388
10.1.1	含砷废水处理	388
10.1.2	汞污染的控制	390
10.1.3	含铬废水的处理	398
10.1.4	含铅废水的治理	399
10.1.5	含镉废水的处理	401
10.1.6	含铜、镍、锌废水的处理	401
10.2	几种工业废水的处理	403
10.2.1	含氟废水	403
10.2.2	酚类废水	403
10.2.3	含油废水	405
10.2.4	氟化物废水	406
10.2.5	高浓度有机废水	407
10.2.6	造纸工业废水的处理	409
10.2.7	印染废水的化学处理	412
10.3	气态污染物的治理	418
10.3.1	二氧化硫污染防治	418
10.3.2	氮氧化物污染防治	426
10.3.3	其他几种气态污染物的治理	430
10.4	固体废弃物的化学处理及资源化	433
10.4.1	固体废弃物的来源及分类	433
10.4.2	固体废弃物的化学处理	434
10.4.3	固体废物资源化	437
第十一章	清洁生产	441
11.1	全球性的环境问题	441
11.2	清洁生产	444
11.2.1	清洁生产的提出	444

11.2.2	清洁生产概念	446
11.2.3	实施清洁生产的方法和步骤	447
11.2.4	化工生产实现清洁生产的主要途径	449
附表 1	生活饮用水水质标准	455
附表 2	地面水环境质量标准	457
附表 3	海水水质要求	460
附表 4	海水中有毒物质最高允许浓度	461
附表 5	污水综合排放标准 (第一类污染物最高允许排放浓度)	462
附表 6	污水综合排放标准 (第二类污染物最高允许排放浓度)	463
附表 7	环境空气质量标准(各项污染物的浓度限值)	465
附表 8	大气污染物排放标准 (现有污染源大气污染物排放限值)	467
附表 9	大气污染物排放标准 (新污染源大气污染物排放限值)	481
附表 10	土壤环境质量标准值(GB15618—1995)	495

第一章 环境质量与环境标准

1.1 环境质量

1.1.1 环境的概念

我国环境保护法指出：“本法所称环境，是指影响人类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体，包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等。”即“以人类社会为主体的外部世界的总体。”

1.1.2 环境的基本类型

环境是一个非常复杂的体系，目前还没有形成统一的分类方法。一般按下述原则进行环境的分类：即按照环境的主体、环境的范围、环境的要素和人类对环境的利用或环境的功能进行分类。

按照环境的主体来分，目前有两种体系：一种是以人或人类为主体，其他生命物体和非生命物质都被视为环境要素，即：环境就是指人类的生存环境。在环境科学中，多数人采用这种分类法。另一种是以生物体（界）作为环境的主体，不把人以外的生物看成环境要素。在生态学中，往往采用这种分类法。

按照环境的范围大小来分类，则比较简单。如把环境分为特定空间环境（如宇航的密封舱环境）、车间环境、生活区环境（如居室环境、院落环境等）、城市环境、区域环境、全球环境和

宇宙环境等。

按照环境要素进行分类则较复杂。如按环境的要素的属性可分为自然环境和社会环境两类。自然环境按其主要的环境组成要素可再分为大气环境、水环境（如海洋环境、湖泊环境等）、土壤环境、生物环境（如森林环境、草原环境等）、地质环境等。社会环境常依人类对环境的利用或环境的功能再分为聚落环境（如院落环境、村落环境、城市环境等）、生产环境（如工厂环境、矿山环境、农场环境、林场环境等）、交通环境、文化环境（如学校或文化教育区、风景游览区等）。

总之，我们今天赖以生存的环境，就是从简单到复杂，从低级到高级，今后，还可能从地球向星际扩展。所以今天的环境不是单纯地由自然因素和社会因素构成的，而是在自然环境背景的基础上，经过人类改造形成的。它有着自然因素和社会因素的交互作用，体现着人类利用和改造自然的性质和水平，影响着人类的生产和生活，关系着人类的生存与发展。

1.1.3 环境质量的含义

所谓环境质量就是指环境素质的好坏。环境质量包括自然环境质量和社会环境质量。自然环境质量又分为物理、化学和生物质量。若按构成自然环境的要素分，又可分为大气、水、土壤、生物等的环境质量。物理环境质量是指物理环境条件的好坏。自然界气候、水文、地质、地貌等条件的变化，自然灾害、地震及人为的物理过程如热污染、噪声污染、微波辐射、地下开采引起的地面下沉等都影响物理环境质量。化学环境质量是指化学环境条件的好坏，指环境的物质组成、元素含量等。不同地区环境要素的化学组成不同，它们的化学环境质量就不一样，人为造成的化学污染，可以改变化学环境质量。社会环境质量则包括经济的、文化的和美学等方面的内容。

当前，我国环境科学研究中所谈的环境质量，是指由于大工

业、大农业的发展，由污染而造成的环境质量下降。严格地讲，这不是环境质量的全部内容。随着环境科学的发展，环境质量评价工作的深入，环境质量已从污染环境质量扩展到生态环境质量。在判定环境质量好坏或环境受污染的程度时，往往以国家规定的环境标准或污染物在环境中的本底值作为依据。评价生态环境质量则要建立生态学方面的定量指标体系。

1.1.4 环境质量问题

自然界固有的不平衡性，以及不同地区自然条件的差异，都会造成环境质量问题。如太阳辐射的变化会引起干旱和洪涝；地球热力和动力作用导致的火山爆发、地震等。这类现象称为第一类环境质量问题，或原生环境问题。人类社会生产活动会对自然环境产生不良影响，如人类生产、生活产生的废弃物会造成环境物质组合的变化；对森林的乱砍滥伐、对草原的过度放牧，会造成水土流失和沙漠化；不适当的施用农药、化肥、灌溉会引起土地变质等，这些现象被称为第二类环境质量问题或次生环境问题。这类环境质量问题是当前环境科学研究的主要课题。人口增长，城市化和经济发展，带来社会结构和社会生活等一系列社会环境问题，例如住房短缺、物资供应不足、交通拥挤、资源浪费以至枯竭。社会环境问题的出现导致生活质量的下降。

地球环境质量按出现的地域范围可分为区域性的和全球性环境质量问题。

1. 区域性环境质量问题

区域性环境质量问题是指在一定区域范围内出现的环境质量问题。这种区域范围，可以从地质角度，也可以从地理或地球化学角度来划分。区域性环境质量恶化主要表现在：人为释放有害物质，直接危害人体健康或造成其他不良影响；其次是由于资源开发或大型工程活动造成环境质量的变化。如矿石的开采和冶炼过程中，废矿石和矿渣堆积成山，减少耕地面积。以及大型水利

工程建设导致地面水的再分配，并产生一些综合性的生态效应。

2. 全球性环境质量问题

引起全球性环境质量恶化的问题主要有：

(1) 矿产资源短缺。矿藏、石油、天然气和煤都是不可再生资源。随着工业的发展对矿产资源的需求与日俱增。预计今后几十年至一百年，人类将面临多种矿产的短缺问题。联合国一份报告警告说，世界对自然资源的消耗速度超过自然资源再生的速度，并且仍然没有“必要的紧迫感”来把这个星球从“环境悬崖上拉回来”。另外，随着对淡水资源利用的增长和水体污染的扩大，全球性淡水短缺已摆在世人面前。据资料报道，在过去3个世纪内，全世界对水的抽取速度增长了35倍多，而且还在迅速提高。目前已有四分之一人口为得到足够的饮用水、灌溉用水和工业用水而展开争斗。到2025年，全世界将有三分之二的人口面临这种紧张的局面。全世界总的水消耗量年增长率为2.5%，比人口增长快一倍。本世纪全世界总的水消耗量增加了六倍。在未来30年内，预计将有27个国家被列入联合国所说的“水资源高度紧张之列”，其中包括印度和巴基斯坦。目前，我国农业每年缺水达300亿立方米，有8000万农村人口饮水困难，有300多个缺水的城市日缺水量达1600万立方米。按目前经济发展速度推算，到本世纪末，这些城市的年缺水量将超过200亿立方米。

(2) 荒漠化。荒漠化是指在干旱、半干旱和某些半湿润、湿润地区，由于气候变化和人类活动等因素所造成的土地退化，它使土地生物和经济生产潜力减少，甚至基本丧失。现在全世界每年平均有18万平方公里的热带森林和林地被砍光。每年因水土流失使6~7万平方公里的农田丧失生产力，是过去3个世纪的两倍多。我国荒漠化很严重，总面积已达国土总面积的8%；全国约1.7亿人口受到荒漠化危害和威胁，约有2100公顷农田遭受荒漠化危害，粮食产量低而不稳。目前，全国水土流失（水