



全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材

Principles and Processes of
Water Pollution Control Engineering

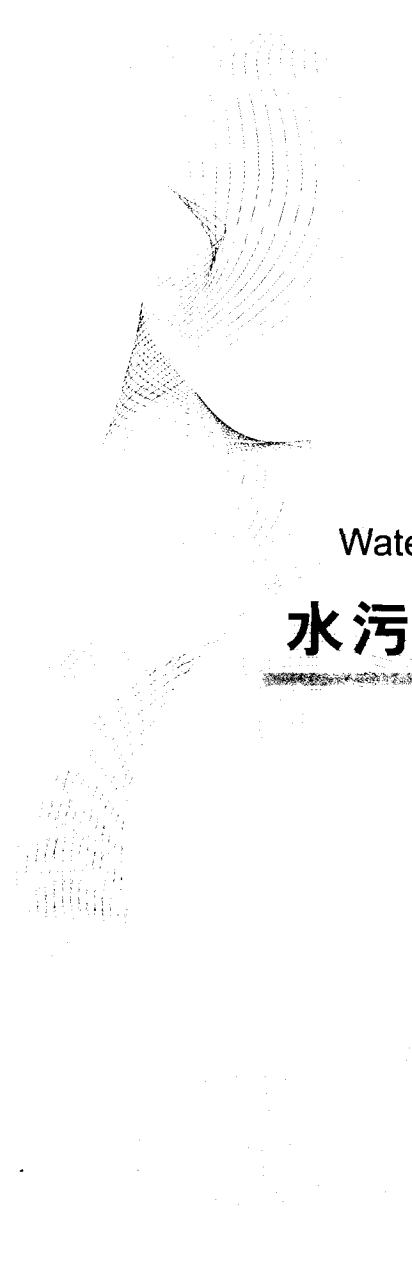
水污染控制原理与技术

任南琪 赵庆良 主编

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

清华大学出版社

全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材



Principles and Processes of
Water Pollution Control Engineering

水污染控制原理与技术

任南琪 赵庆良 主编

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐的工程硕士研究生教育核心教材之一。

本书全面和系统地阐述了水污染控制的基本原理、工艺与应用实例,共分12章。主要内容包括水污染组分及衡量指标,水污染控制的物理处理工艺和化学处理工艺,好氧和厌氧生物处理原理与工艺,脱氮除磷原理与工艺,深度处理原理与工艺,废水处理后的回收与再用,污泥处理、处置和回用,废水(污水)处理厂的设计与运行管理,还介绍了城市污水、工业开发区集中废水、高浓度有机废水、化工废水、冶金废水、染整废水及造纸废水等处理工程实例。

本书注重“系统性、新颖性、工程性和实用性”,可作为环境工程领域工程硕士研究生教育的教材,也可供从事水污染控制研究、设计与运行管理人员及专业技术人员参考使用。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

水污染控制原理与技术/任南琪,赵庆良主编. —北京:清华大学出版社,2007.11

(全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材)

ISBN 978-7-302-15715-1

I. 水… II. ①任… ②赵… III. 水污染—污染控制—研究生—教材 IV. X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 107920 号

责任编辑:柳 萍

责任校对:焦丽丽

责任印制:何 芊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机:010-62770175 邮购热线:010-62786544

投稿咨询:010-62772015 客户服务:010-62776969

印 刷 者:北京季蜂印刷有限公司

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×230 印 张:31.5 字 数:649 千字

版 次:2007 年 11 月第 1 版 印 次:2007 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:59.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:019941-01

前言

水是一种有限的人类赖以生存的宝贵资源。随着我国工农业生产的快速发展、城市化进程的逐步加快和人民生活水平的不断提高,用水量与污水的排放量也急剧增加。由于没有进行有效的污水处理和水资源的合理管理,因而导致我国陆地大部分水域水质恶化,水生生态系统受到严重破坏,水污染问题日趋突出。在众多的环境问题中,水体污染和水资源短缺将是今后相当长一段时间内全球最严重的问题之一。

我国的淡水资源虽然较丰富,地表水资源总量居世界第 6 位,但由于人口众多,人均水资源占有量远低于世界平均水平,排在第 110 位,还不到世界人均值的 1/4,中国被列为世界人均水资源缺乏的 13 个国家之一。加上水资源分布不均和受到严重污染,水资源不足的状况还会加剧。据国家环境保护局披露:全国七大流域面临的严重问题是水体污染和水资源短缺,主要河流有机污染普遍,主要湖泊富营养化严重。七大水系污染程度由重到轻顺序为:辽河、海河、淮河、黄河、松花江、珠江、长江。辽河、淮河、黄河、海河四条河流域都有 70% 以上的河段受到污染。近 20 年来,水资源缺乏或不合理利用问题日益突出,已成为社会经济发展的制约因素。如果不从根本上解决我国水污染问题,中华民族将面临巨大的灾难。

基于我国水污染和水资源短缺的现状,如何在短时期内有效地控制和从根本上解决我国水污染问题,是摆在每一位环境保护工作者面前的重大使命之一。根据全国工程硕士专业学位教育指导委员会秘书处[2004]第 27 号通知的精神和要求及 2004 年 12 月 21~23 日在华南理工大学召开的 2004 年全国环境工程领域工程硕士教育协作组组长单位扩大会议精神,决定编写《水污染控制原理与技术》的工程硕士教材。教材编写应注意“系统性、新颖性、工程性、实用性”,应充分体现本领域工程硕士研究生教育的特色,尤其要突出实用性;教材不仅要适用于本领域,还要适用于其他相关领域;教材的内容既要全面、系统,又要注重联系工程实际,实例分析要涵盖全国不同区域的工程特点。本书编写的宗旨就是能使读者,特别是工程硕士研究生系统掌握有关水污染现状与危害、废水中各类污染物去除的技术与工艺,以及水回用的途径与策略等,本书还特别列举了相关的工程实例分析。

Foreword

本书的主编单位为哈尔滨工业大学, 副主编单位为华南理工大学、北京科技大学、南京理工大学, 参编单位为东华大学、四川大学和重庆大学。

本书由任南琪和赵庆良主编。各章编写的具体分工如下: 第1章, 哈尔滨工业大学任南琪; 第2章, 南京理工大学王连军、孙秀云; 第3章, 北京科技大学李子富; 第4章, 华南理工大学胡勇有; 第5章, 华南理工大学周少奇; 第6章, 哈尔滨工业大学任南琪、刘广民; 第7章, 华南理工大学周少奇; 第8章, 重庆大学林衍; 第9章, 哈尔滨工业大学赵庆良、张金娜; 第10章, 四川大学刘敏、姚刚; 第11章, 东华大学田晴、陈季华; 第12章, 东华大学李方、杨波、陈季华。哈尔滨工业大学博士研究生姜珺秋在本教材的统稿工作中给予了大力协助。

由于参编单位较多, 编者的知识水平有限与经验不足, 加之时间仓促, 书中出现错误和不妥之处在所难免, 热忱欢迎广大读者批评指正。

任南琪 赵庆良

2007年4月于哈尔滨

目 录

第 1 章 概论 /1

1.1 水污染种类	1
1.1.1 化学性污染	1
1.1.2 物理性污染	4
1.1.3 生物性污染	4
1.2 水污染危害	5
1.3 水污染控制方法	7

第 2 章 水污染组分及衡量指标 /9

2.1 物理组分及特征指标	10
2.1.1 温度	10
2.1.2 色度	11
2.1.3 浊度	11
2.1.4 悬浮物	12
2.1.5 臭	12
2.1.6 电导率	13
2.2 化学组分及特征指标	13
2.2.1 pH 值	13
2.2.2 碱度	14
2.2.3 水中的氯化物和余氯	14
2.2.4 水中的含氮化合物	15
2.2.5 水中的含磷化合物	17
2.2.6 水中的含硫化合物	17

Contents

2.2.7	金属离子	18
2.3	有机污染物组分及指标	21
2.3.1	化学需氧量(COD)	22
2.3.2	生化需氧量(BOD _n)	22
2.3.3	总有机碳(TOC)	23
2.3.4	可吸收紫外线的有机组分	24
2.3.5	表面活性剂	24
2.3.6	酚	24
2.3.7	矿物油	25
2.4	微生物学特征及指标	25
2.4.1	水中的微生物	25
2.4.2	指示生物	25
2.4.3	细菌学监测法	27
2.5	毒理学特征及指标	28
2.5.1	环境毒理学实验的任务及意义	28
2.5.2	毒理学实验	29
2.5.3	毒理学实验常用参数	30

第3章 废水物理处理原理与工艺 /31

3.1	格栅与筛网	31
3.1.1	格栅	31
3.1.2	筛网	34
3.1.3	栅渣处理方法	36
3.1.4	破碎机	37
3.2	水质水量的调节	37
3.2.1	调节的目的和方式	37
3.2.2	调节池	38
3.2.3	调节池的位置	42
3.3	沉淀处理	42
3.3.1	概述	42
3.3.2	沉淀理论	45
3.3.3	沉砂池	55

3.3.4	沉淀池	59
3.4	气浮	72
3.4.1	概述	72
3.4.2	气浮药剂	74
3.4.3	气浮法的分类及流程	75

第 4 章 废水化学处理原理与工艺

/83

4.1	化学中和	83
4.1.1	中和反应与中和设施	84
4.1.2	药剂中和	85
4.1.3	过滤中和	91
4.1.4	烟道气中和	95
4.2	化学混凝/絮凝	96
4.2.1	胶体的结构与特性	96
4.2.2	混凝处理流程及设备	101
4.3	化学沉淀	103
4.3.1	概述	103
4.3.2	氢氧化物沉淀法	105
4.3.3	其他化学沉淀法	106
4.4	氧化还原法	109
4.4.1	空气氧化法和臭氧氧化法	109
4.4.2	氯氧化法	112
4.4.3	还原法	114
4.4.4	电化学法	116
4.5	化学消毒	118
4.5.1	概述	118
4.5.2	化学消毒原理	119
4.5.3	氯消毒法	121
4.5.4	其他消毒法	126
4.6	工程实例	128
4.6.1	氧化还原+中和+混凝处理某电镀废水	128
4.6.2	化学中和+化学沉淀+砂滤处理某有色金属压延厂污水	131

4.6.3 臭氧氧化+混凝过滤+消毒工艺处理某景观循环用水	133
-------------------------------------	-----

第5章 废水好氧生物处理原理与工艺 /136

5.1 好氧过程的生化反应计量学	136
5.1.1 有机物降解的生化反应计量学	136
5.1.2 好氧过程的理论需氧量	137
5.1.3 好氧硝化脱氮过程的原理	138
5.2 活性污泥法及其变型工艺	138
5.2.1 活性污泥法的产生	138
5.2.2 活性污泥法的反应机理与基本流程	140
5.2.3 活性污泥法的工艺类型	141
5.2.4 好氧过程曝气技术进展	146
5.3 生物膜法	149
5.3.1 生物膜法的产生与特点	149
5.3.2 生物膜反应器的类型	151
5.4 几种典型的生物膜反应器	152
5.4.1 生物滤池	152
5.4.2 生物转盘法	155
5.4.3 生物接触氧化法	157
5.4.4 生物流化床	159
5.5 自然生物处理技术	161
5.5.1 生物氧化塘法	161
5.5.2 污水渠式生物处理技术	164

第6章 废水厌氧生物处理原理与工艺 /167

6.1 厌氧生物处理的基本原理	167
6.1.1 复杂有机物的厌氧降解	167
6.1.2 水解阶段	168
6.1.3 产酸发酵阶段	170
6.1.4 产氢产乙酸阶段	171
6.1.5 产甲烷阶段	172
6.1.6 其他厌氧生物处理过程	175

6.2	厌氧微生物生态学	177
6.2.1	影响产酸细菌的主要生态因子	177
6.2.2	影响产甲烷细菌的主要生态因子	181
6.2.3	影响硫酸盐还原菌的主要生态因子	187
6.2.4	厌氧生化反应动力学	188
6.2.5	厌氧生物处理过程中微生物优势种群的演替及相互关系	189
6.3	厌氧活性污泥处理工艺	191
6.3.1	完全混合悬浮生长厌氧消化池	192
6.3.2	厌氧接触法	193
6.3.3	厌氧序批式反应器	194
6.4	厌氧生物膜处理工艺	195
6.4.1	升流式厌氧填充床反应器	196
6.4.2	厌氧膨胀床反应器	197
6.4.3	厌氧流化床反应器	198
6.4.4	降流式厌氧附着生长反应器	199
6.4.5	厌氧生物转盘	200
6.5	升流式厌氧污泥层工艺	201
6.5.1	UASB 工艺的工作原理	201
6.5.2	颗粒污泥形成的原理及主要工艺条件	202
6.5.3	颗粒污泥的性质	205
6.5.4	UASB 反应器的结构设计原理	206
6.5.5	UASB 反应器的若干发展	211
6.6	两相厌氧生物处理	214
6.6.1	两相厌氧生物处理原理	214
6.6.2	两相厌氧生物处理技术	216
6.6.3	最适液相末端发酵产物的选择	216

第 7 章 废水脱氮除磷原理与工艺 /218

7.1	生物脱氮过程和原理	218
7.1.1	氨化作用	218
7.1.2	硝化作用	220
7.1.3	反硝化作用	221

7.2	生物除磷原理	222
7.3	生物脱氮除磷工艺	225
7.3.1	生物脱氮工艺	225
7.3.2	生物除磷工艺	227
7.3.3	废水同步除磷脱氮工艺	229
7.4	生物脱氮新技术	233
7.4.1	短程硝化-反硝化	234
7.4.2	同时硝化-反硝化	236
7.4.3	厌氧氨氧化	239
7.4.4	其他生物脱氮新技术	241

第8章 废水深度处理原理与工艺 /243

8.1	废水深度处理的必要性	243
8.2	深度处理技术	244
8.2.1	二级处理后废水中的残余成分	244
8.2.2	深度处理技术的分类	245
8.2.3	有机和无机胶体及悬浮固体的去除	245
8.2.4	溶解性有机污染物质的去除	246
8.2.5	溶解性无机污染物质的去除	246
8.2.6	生物组分的去除	246
8.2.7	工艺选择依据和运行数据	247
8.3	过滤	248
8.3.1	过滤的含义和分类	248
8.3.2	深层过滤	248
8.3.3	表面过滤	262
8.3.4	膜过滤工艺	265
8.4	吸附	275
8.4.1	吸附的基本理论	276
8.4.2	吸附剂及其再生	278
8.4.3	吸附工艺设计与应用	280
8.5	离子交换	287
8.5.1	离子交换剂	287

8.5.2	离子交换工艺与设备	289
8.5.3	离子交换的应用	291
8.6	高级氧化工艺	292
8.6.1	高级氧化理论	292
8.6.2	羟基自由基的产生技术	292
8.6.3	高级氧化工艺的应用	295
8.6.4	高级氧化工艺的运行	296

第9章 废水处理后的回收与再用

/297

9.1	概述	297
9.1.1	废水回收及再用意义	297
9.1.2	废水回收及再用途径	298
9.1.3	废水回收及再用中的水质标准	299
9.2	废水回收及再用处理技术	300
9.2.1	回用水处理的基本方法及处理效果	301
9.2.2	回用水的组合处理工艺及流程图	304
9.3	回收水在农田灌溉中回用	306
9.3.1	污水灌溉的发展	307
9.3.2	再生水农田灌溉水质标准	307
9.3.3	再生水灌溉的发展现状	309
9.3.4	存在的问题	310
9.4	回收水在工业生产的冷却回用	310
9.4.1	工业水的用途	310
9.4.2	工业回用水水质标准	311
9.4.3	回用现状	313
9.4.4	常见的水质问题	315
9.5	回收水补充地下水的回注应用	316
9.5.1	补充地下水回注的水质标准	318
9.5.2	回收水补充地下水回注的发展现状	321
9.5.3	回收水在补充地下水回注时应注意的问题	321
9.6	回用水的健康风险评价	322
9.6.1	风险评价的形成及发展	323



9.6.2 风险评价方法 323

9.6.3 回收水健康风险评价 325

第 10 章 污泥处理、处置与利用 /329

10.1 污泥的性质、产生量与一般处理工艺流程 329

10.1.1 污泥的来源、性质与数量 329

10.1.2 污泥的一般处理工艺流程 333

10.2 污泥浓缩 335

10.2.1 重力浓缩 335

10.2.2 气浮浓缩 342

10.2.3 机械浓缩 346

10.3 污泥的厌氧消化 349

10.3.1 厌氧消化的原理 350

10.3.2 影响污泥消化效率的因素 351

10.3.3 厌氧消化池型、构造与设计 357

10.3.4 厌氧消化工艺 363

10.3.5 消化池的运行与管理 365

10.3.6 消化气/沼气的利用 366

10.4 污泥的好氧消化 370

10.4.1 好氧消化的机理 371

10.4.2 好氧消化池的构造及工艺设计 371

10.4.3 污泥好氧消化工艺 372

10.5 污泥的调质与干化脱水 375

10.5.1 污泥调质 375

10.5.2 污泥干化 379

10.5.3 污泥脱水 382

10.6 污泥的干燥与焚烧 389

10.6.1 污泥干燥 389

10.6.2 污泥焚烧 393

10.7 污泥堆肥 400

10.7.1 污泥堆肥的工艺过程 400

10.7.2 污泥堆肥的技术与设备 402

10.7.3	污泥堆肥的质量控制	405
10.8	污泥的最终处置与利用	407
10.8.1	污泥的土地处理	407
10.8.2	污泥的建筑材料利用	408
10.8.3	污泥的填地与填海造地	412
第 11 章 废水(污水)处理厂的设计与运行管理		/413
11.1	废水厂的设计	413
11.1.1	设计阶段与任务	413
11.1.2	设计的前期准备	413
11.1.3	废水厂的设计原则与依据	417
11.1.4	废水厂设计的主要内容	418
11.2	废水厂运行与管理	435
11.2.1	调试前的准备	435
11.2.2	单体设备与构筑物的调试与运行操作	435
11.2.3	活性污泥法运行过程中的异常情况对策	441
11.3	水厂的仪表检测与自动控制	443
11.3.1	仪表检测与自动控制系统	443
11.3.2	废水处理厂处理监控系统设计实例	445
第 12 章 废水处理工程实例		/449
12.1	城市污水处理实例——A ² /O 工艺处理城市污水	449
12.1.1	处理水质水量及排放标准	449
12.1.2	处理工艺与设计参数	450
12.1.3	设计计算和主要构筑物及设备	451
12.1.4	技术经济指标	454
12.2	工业开发区集中废水处理实例——高新技术工业开发区 集中废水处理	455
12.2.1	水质水量及处理目标	456
12.2.2	处理工艺流程	456
12.2.3	主要构筑物及设备	457
12.2.4	技术经济指标	460

12.3	高浓度有机废水处理实例——酒厂高浓度有机废水处理工程设计	460
12.3.1	水质、水量及排放标准	461
12.3.2	处理工艺流程	461
12.3.3	主要构筑物及设备	461
12.3.4	主要经济技术指标	463
12.4	化工废水处理实例——CTB 氧化槽处理甲醇精馏残液废水	463
12.4.1	处理水质、水量及排放要求	464
12.4.2	处理工艺	464
12.4.3	主要构筑物与设计参数	464
12.4.4	工程特点分析	465
12.5	冶金废水处理实例——酸洗废液资源化技术	466
12.5.1	设计水量、水质和设计要求	466
12.5.2	设计工艺流程	466
12.5.3	设计计算	467
12.5.4	工程运行效果	472
12.6	染整废水实例——生化-物化组合工艺处理纺织印染废水	472
12.6.1	概述	473
12.6.2	处理水质、水量及处理目标	473
12.6.3	处理工艺与设计参数	474
12.6.4	处理效果与主要经济技术指标	477
12.7	造纸废水处理实例——氧化沟结合水解酸化工艺处理造纸废水	478
12.7.1	处理水质、水量及排放要求	478
12.7.2	处理工艺与设计参数	479
12.7.3	经济成本分析	482

第1章

概 论

水是人类赖以生存的宝贵资源。人类使用的水主要分为生活用水、工业用水及农业灌溉用水。大部分水在使用过程中会混入各类无机物和有机物,细菌、病毒等致病微生物和重金属类等污染物质。在社会发展的初期,排放的废水经过清洁水体的稀释和自然净化作用变污为清,成为人类可以循环利用的水资源。随着社会经济发展的规模越来越大,人口的不断增长,废水越来越多,水质越来越复杂,大量废水源源不断地排入水体(江、河、湖、海和地下水),使水体有限的自然净化功能不能适应,水环境受到严重污染,对人体健康、农业生产和人类社会的持续发展带来了极大的危害。

人类的活动会把大量的工业、农业和生活废弃物排入水中,使水受到污染。《中华人民共和国水污染防治法》对“水污染”的定义为:水体因某种物质的介入,而导致其化学、物理、生物或者放射性等方面特征的改变,从而影响水的有效利用,危害人体健康或者破坏生态环境,造成水质恶化的现象称为水污染。

1.1 水污染种类

水的污染有两类:自然污染与人为污染。当前对水体危害较大的是人为污染。水污染又可根据污染物的不同而分为化学性污染、物理性污染和生物性污染三大类。

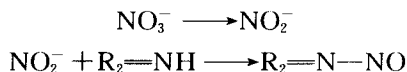
1.1.1 化学性污染

化学性污染是指污染物为化学物质而造成的水体污染。根据污染物的特性,可分为无机有毒物质、有机有毒物质、需氧污染物质、植物营养物质和油类污染物质等五类。

1. 无机有毒物质

无机化学毒物分为金属和非金属两类。金属毒物主要是汞、铬、镉、铅、锌、镍、铜、钴、锰、钛、钒、钼、铋等元素的离子或化合物。其中,前四种危害极大。如汞进入人体后转化为甲基汞,会在脑组织积累,破坏神经功能,无药可治,直至严重发作致死亡;六价铬中毒时能使鼻膈穿孔,皮肤及呼吸系统溃疡,引起脑膜炎和肺癌;镉中毒时引起全身疼痛,腰关节受损,骨节变形,有时还会引起心血管病;铅中毒时引起贫血,肠胃绞痛,知觉异常,四肢麻痹;镍中毒时引起皮炎,头疼,呕吐,肺出血,虚脱,肺癌和鼻癌;锌中毒时能损伤胃肠等内脏,抑制中枢神经,引起麻痹;铜中毒时引起脑病,血尿和意识不清等。金属毒物不能被微生物降解,只能在不同形态间转化、分散。其毒性以离子态存在时最为严重,又易被配位体配合或被带负电荷的胶体吸附而四处迁移,不一定都富集于排水口下游的底泥中。金属毒物常被生物富集于体内,富集倍数可达几百至千倍,又通过饮水和食物链,最终毒害人体。它们能与生理高分子物质作用而使之失去活性,也可能积累在某些器官中,导致慢性中毒,有时造成的危害长达 10~20 年才显露,严重的会突发致病,导致死亡。

重要的非金属毒物主要有砷、硒、氰、硫(S^{2-})、亚硝酸根离子(NO_2^-)等。如砷中毒时引起中枢神经紊乱,诱发皮肤癌。水产品都或多或少地被海水与海底淤泥中的砷污染。硒中毒时能引起皮炎,嗅觉失灵,婴儿畸变,肿瘤。氰中毒时能引起细胞窒息,组织缺氧,脑部受损等,最终可因呼吸中枢麻痹而导致死亡。氟中毒时能腐蚀牙齿,引起骨骼变脆或骨折;氟对植物的危害很大,能使之枯死。硫中毒时,引起呼吸麻痹和昏迷,最终导致死亡。亚硝酸盐能使幼儿产生变性血红蛋白,造成人体缺氧;亚硝酸盐在人体内还能与仲胺生成亚硝胺,具有强烈的致癌作用。亚硝酸盐在人体内能与仲胺在厌氧情况下作用生成亚硝胺,反应如下:



2. 有机有毒物质

有机有毒物质来源于动物、植物和人工有机合成生产过程。污染水体的这类毒物种类繁多,主要是挥发酚、苯、硝基物、胺基物、苯并(a)芘、DDT、六六六、多氯联苯、多环芳烃、合成洗涤剂等人造有机化合物。以有机氯农药为例,它具有很强的化学稳定性,在自然环境中的半衰期为十几至几十年。此外,它们都可能通过食物链在人体内富集,危害人体健康。如聚氯联苯、联苯胺、稠环芳烃等都是较强的“三致”(致癌、致畸、致突变)物质。有机氯农药是疏水亲油物质,能够被胶体颗粒和油粒吸附并随它们在水中扩散,还能在水生生物体内大量富集,使富集在水生生物体内的浓度几千倍甚至几百万倍于水体,然