



普通高等教育“十一五”国家级规划教材


# 水污染控制工程

(第3版)

彭党聪 主编

**WATER POLLUTION CONTROL  
ENGINEERING**



 冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 水污染控制工程

(第3版)

彭党聪 主编

北京  
冶金工业出版社  
2010

## 内 容 提 要

本书详细阐述了水污染控制工程的基本理论及其应用,主要内容包括:总论,不溶态污染物的分离技术,污染物的生物化学转化技术,污染物的化学转化技术,溶解态污染物的物理化学分离技术,废水的再生利用与排放,污泥处理与处置技术,污水处理厂(站)设计与水环境区域综合防治等。各章末均附有习题和思考题,便于读者掌握本书内容。

本书为高等学校环境工程专业的“十一五”国家级规划教材,也可供厂矿工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

水污染控制工程/彭党聪主编. —3版. —北京:冶金工业出版社,2010.4

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5024-5129-5

I. ①水… II. ①彭… III. ①水污染—污染控制—高等学校—教材 IV. ①X52

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第039560号

出版人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷39号,邮编100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 杨 敏 宋 良 美术编辑 李 新 版式设计 张 青

责任校对 王贺兰 责任印制

ISBN 978-7-5024-5129-5

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1984年6月第1版,1993年4月第2版,2010年4月第3版,2010年4月第12次印刷

787 mm×1092 mm 1/16;27.5印张;733千字;416页;33701-36700册

49.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

### 第3版前言

本书根据教育部普通高等学校环境工程教学指导委员会制定的环境工程专业规范(草案)中的“水污染控制工程教学基本内容”,在《水污染控制工程(第2版)》的基础上修改和补充部分内容而成,供80~100学时教学使用。

进入21世纪以来,随着我国经济社会的快速发展,由此引发的水资源短缺、水环境污染等问题日益严重,在此情况下,全面深入地了解 and 掌握水污染控制技术,解决我国面临的水污染问题,已成为环境工程技术人员的重要历史使命。本书在保留第2版原有特色的基础上,结合近二十年来,水污染控制理论和技术的发展,力求全面体现各种新政策、新思想、新工艺和新方法,使读者在掌握水污染控制基本理论的同时,获得解决实际问题的能力。

本书对水污染控制领域涉及的主要专业术语给出了英文对照,便于读者查阅和阅读外文资料时参考。

本书由彭党聪担任主编。参加本书编写工作的有西安建筑科技大学彭党聪(第1章、第2章、第9章、第19章、第22章)、王磊(第3章、第4章、第6章、第17章)、韩芸(第5章、第18章)、袁林江(第7章、第10章、第20章、第21章)、王怡(第8章)、郭新超(第11章~第16章)、杨永哲(第23章、第24章、附录)。

西安建筑科技大学张希衡教授担任了本书的审稿工作,兄弟院校和有关单位同志对本书的编写提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢。

因编写人员的水平有限,书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者  
2009年12月

## 第2版前言

本书根据国家教委高等工业学校环境工程专业教材委员会制定的“水污染控制工程教学基本要求”，对原教材《废水治理工程》进行了修改和补充后而编成的，并改名为《水污染控制工程》，供100~120学时教学用。

我国水资源十分短缺，而水环境的污染又日趋严重，在此情况下，全面深入地了解和掌握水污染控制技术，解决我国面临的水污染问题，已成为环境工程技术人员的重要历史使命。本书力求全面系统地介绍有关的技术政策、各种水污染控制技术的原理和设备计算，务使读者能掌握基本理论和学会解决实际问题的初步能力。

本书仍按废水中污染物的不同存在状态，将各种处理技术归纳为分离技术和转化技术两大类来建立编写体系，对原教材中的重点章节进行了补充，对一般章节进行了删节合并，新增了六章（第九、十四、十九、二十、二十一、二十四章），每章后列有习题和思考题。

参加本书编写工作的有西安冶金建筑学院的张希衡（第一、二、九章及第十九章的一、二、四、五节）、王志盈（第七、八章）、金奇庭（第十一、十二、十三、十四、二十章及第十九章的第三节）、陈克任（第二十一、二十二、二十三章）、王志远（第二十四章），昆明工学院的杨靖中（第三、四、五、六、十章）、周里一（第十五、十六、十七、十八章），由张希衡任主编。

本书由天津大学林荣忱教授、兰州铁道学院欧阳铭副教授、青岛建筑工程学院刘永纯高级工程师审稿。兄弟院校和有关单位的同志对本书的编写提出了许多宝贵意见，在此一并表示衷心感谢。

因编写人员水平有限，书中缺点和错误在所难免，欢迎读者批评指正。

编者  
1992年1月

## 前 言

本书是高等院校环境工程专业的教学用书,供120学时教学之用。

本书根据废水中污染物的不同存在状态,系统地介绍了各种分离处理与转化处理。重点介绍废水水质控制的单元方法,侧重于基础理论和基本知识。

为了理论联系实际,书中介绍了一些计算例题和国内外的应用实例,供教学中参考。

参加本书编写工作的有西安冶金建筑学院陈克任、张希衡(合编第一、二、十六、十七、二十二、二十三、二十四、二十五章)、王志盈(第八、九、十、十一章)、金奇庭(第十二、十三、十四、十五章)、昆明工学院杨靖中(第三、四、五、六、七章)、周里一(第十八、十九、二十、二十一章);由张希衡任主编。

本书由西安冶金建筑学院于泮池主审。王志远参加了全书的审校工作。

兄弟院校和有关单位的同志对本书的编写提出了许多宝贵意见,在此表示衷心感谢。

因编写人员的水平所限,书中缺点和错误在所难免,欢迎读者批评指正。

编 者  
1983年3月

# 目 录

## 第1篇 总 论

<b>1 水环境的污染与防治</b> .....	1
1.1 水资源 .....	1
1.2 水污染 .....	2
1.3 水体污染防治 .....	3
习题和思考题 .....	4
<b>2 水污染防治基础知识</b> .....	5
2.1 废水 .....	5
2.2 污染物与污染指标 .....	5
2.2.1 固体污染物 .....	5
2.2.2 需氧污染物 .....	6
2.2.3 毒性污染物 .....	7
2.2.4 营养性污染物 .....	8
2.2.5 生物污染物 .....	8
2.2.6 感官污染物 .....	9
2.2.7 酸碱污染物 .....	9
2.2.8 油类污染物 .....	9
2.2.9 热污染 .....	9
2.3 废水水质 .....	9
2.4 废水水质控制标准 .....	10
2.5 控制废水污染的基本途径 .....	11
2.5.1 减少污染因子的产生量 .....	11
2.5.2 减少污染因子的排放量 .....	11
2.6 废水水质控制和污泥处理方法分类 .....	12
2.6.1 废水水质控制方法分类 .....	12
2.6.2 污泥处理方法分类 .....	14
2.7 废水处理系统 .....	14
2.8 水量调节与水质均化 .....	16
2.8.1 水量调节 .....	16

2.8.2 水质均化 .....	16
习题和思考题 .....	17
<b>第2篇 不溶态污染物的分离技术</b>	
<b>3 重力沉降法 .....</b>	<b>19</b>
3.1 概述 .....	19
3.2 离散颗粒的沉降规律 .....	20
3.2.1 单独颗粒的沉降规律 .....	20
3.2.2 群体颗粒的沉降速度 .....	22
3.3 沉降试验和沉降曲线 .....	23
3.3.1 自由沉降试验及其沉降曲线 .....	23
3.3.2 絮凝沉降试验及其沉降曲线 .....	27
3.4 理想沉淀池 .....	30
3.5 沉砂池 .....	31
3.5.1 平流沉砂池 .....	31
3.5.2 曝气沉砂池 .....	33
3.5.3 旋流沉砂池 .....	34
3.6 普通沉淀池 .....	35
3.6.1 平流沉淀池 .....	35
3.6.2 竖流沉淀池 .....	38
3.6.3 辐流沉淀池 .....	41
3.7 斜板和斜管沉淀池 .....	42
3.7.1 浅层沉降原理 .....	42
3.7.2 斜板、斜管沉淀池的构造 .....	43
3.7.3 斜板、斜管沉淀池的设计计算 .....	44
习题和思考题 .....	46
<b>4 混凝澄清法 .....</b>	<b>48</b>
4.1 胶体结构及其脱稳凝聚机理 .....	48
4.1.1 胶体结构及其 $\zeta$ 电位 .....	48
4.1.2 胶体的脱稳和凝聚 .....	49
4.2 混凝剂及其作用机理 .....	52
4.2.1 常用混凝剂及其性能 .....	52
4.2.2 混凝剂的作用机理 .....	53
4.2.3 助凝剂 .....	54
4.3 混凝条件及混凝试验 .....	55
4.4 混合反应器和澄清设备 .....	58



4.4.1 混合器 .....	58
4.4.2 反应池 .....	60
4.4.3 澄清池 .....	61
习题和思考题 .....	63
<b>5 浮力浮上法 .....</b>	<b>64</b>
5.1 隔油 .....	64
5.1.1 油粒上浮速度 .....	64
5.1.2 隔油池 .....	65
5.2 气浮和浮选原理 .....	67
5.2.1 气浮和浮选 .....	67
5.2.2 空气的溶解、释放及气泡性质 .....	67
5.2.3 悬浮粒子与气泡的粘附 .....	70
5.2.4 乳化和破乳 .....	71
5.3 压力溶气气浮及其系统设计 .....	72
5.3.1 压力溶气气浮的流程及供气方式 .....	72
5.3.2 压力溶气气浮的主要设备及其设计计算 .....	75
习题和思考题 .....	79
<b>6 不溶态污染物的其他分离方法 .....</b>	<b>80</b>
6.1 阻力截留法 .....	80
6.1.1 格栅 .....	80
6.1.2 筛网 .....	82
6.1.3 微滤 .....	83
6.2 离心力分离法 .....	83
6.2.1 离心力分离原理 .....	83
6.2.2 离心分离设备及其设计计算 .....	84
6.3 磁力分离法 .....	88
6.3.1 磁力分离原理 .....	89
6.3.2 磁力分离设备及分离流程 .....	89
习题和思考题 .....	92

### 第3篇 污染物的生物化学转化技术

<b>7 活性污泥法 .....</b>	<b>93</b>
7.1 废水生物处理 .....	93
7.1.1 废水生物处理原理 .....	93
7.1.2 生物处理方法分类 .....	96
7.2 活性污泥法基本原理 .....	96

7.2.1	活性污泥与活性污泥法 .....	96
7.2.2	活性污泥法分类 .....	97
7.2.3	活性污泥增长特点与净化作用 .....	98
7.2.4	活性污泥的性能指标 .....	99
7.2.5	影响活性污泥性能的环境因素 .....	100
7.2.6	活性污泥法主要设计和运行参数 .....	101
7.3	活性污泥降解有机物的规律 .....	103
7.3.1	生物处理动力学模型 .....	103
7.3.2	动力学模型的应用 .....	106
7.3.3	净化理论在活性污泥法中的应用 .....	110
7.4	活性污泥法运行方式 .....	111
7.4.1	曝气池混合反应形式 .....	111
7.4.2	各种活性污泥法系统 .....	112
7.5	曝气原理与曝气池构造 .....	120
7.5.1	曝气的作用与方法 .....	120
7.5.2	曝气池 .....	124
7.5.3	氧的传递理论 .....	127
7.6	活性污泥法系统的工艺设计 .....	128
7.6.1	工艺流程选择 .....	128
7.6.2	曝气时间与曝气池容积 .....	128
7.6.3	回流污泥量及污泥回流设备 .....	130
7.6.4	需氧量、供氧量与曝气设备的确定 .....	131
7.6.5	二次沉淀池的设计 .....	138
7.6.6	设计计算举例 .....	138
7.6.7	序批式活性污泥法工艺设计 .....	141
7.7	活性污泥法系统的运行管理 .....	143
7.7.1	活性污泥的培养与驯化 .....	143
7.7.2	活性污泥法运行中常见的问题 .....	143
7.7.3	活性污泥法运行中需要测定的主要项目 .....	145
	习题和思考题 .....	146
<b>8</b>	<b>生物膜法 .....</b>	<b>147</b>
8.1	概述 .....	147
8.2	基本原理 .....	148
8.2.1	生物膜附着的基体——填料 .....	148
8.2.2	生物膜 .....	149
8.2.3	生物膜中的物质迁移 .....	150
8.2.4	生物膜净化废水的原理 .....	151
8.3	普通生物滤池 .....	151

8.3.1	构造与特征	151
8.3.2	负荷	152
8.3.3	耗氧与供氧	154
8.3.4	处理效率	155
8.3.5	生物滤池的设计	156
8.4	生物滤池的类型与运行	157
8.4.1	生物滤池的类型	157
8.4.2	生物滤池运行流程	158
8.4.3	回流	159
8.4.4	生物滤池的运行	160
8.5	生物转盘	161
8.5.1	构造	161
8.5.2	工作过程	163
8.5.3	组合形式及处理流程	163
8.5.4	处理特点	163
8.5.5	设计	164
8.5.6	生物转盘的实践	165
8.6	接触氧化法	165
8.6.1	构造	166
8.6.2	去除机理及特点	166
8.6.3	处理流程	167
8.6.4	设计	168
	习题和思考题	169
9	厌氧生物处理法	170
9.1	厌氧消化原理	170
9.1.1	厌氧消化的生化阶段	170
9.1.2	发酵的控制条件	171
9.2	厌氧消化工艺设备	174
9.2.1	厌氧接触系统	175
9.2.2	厌氧生物滤池和厌氧生物转盘	175
9.2.3	上流式厌氧污泥床反应器	176
9.2.4	厌氧流化床反应器	178
9.2.5	两相厌氧消化系统	178
9.2.6	几种厌氧生物处理工艺及装置的比较	178
	习题和思考题	179
10	自然条件下的生物处理法	180
10.1	稳定塘	180

10.1.1	稳定塘的种类和功能	180
10.1.2	稳定塘的规划与设计	181
10.2	生态系统塘	182
10.2.1	水生植物塘	182
10.2.2	养殖塘	183
10.3	土地处理法	184
10.3.1	废水的土地处理概念及分类	184
10.3.2	土地处理机理	184
10.3.3	污水灌溉的水质要求	185
10.3.4	污水灌溉的规划与设计	185
10.3.5	土地渗滤系统	186
10.3.6	人工湿地处理系统	188
	习题和思考题	191

## 第4篇 污染物的化学转化技术

11	中和法	192
11.1	概述	192
11.2	基本原理	192
11.3	酸性废水的中和处理	193
11.3.1	投药中和法	193
11.3.2	过滤中和法	196
11.3.3	利用碱性废水和废渣的中和法	197
11.4	碱性废水的中和处理	197
	习题和思考题	198
12	化学沉淀法	199
12.1	氢氧化物沉淀法	199
12.2	其他化学沉淀法	202
12.2.1	硫化物沉淀法	202
12.2.2	碳酸盐沉淀法	204
12.2.3	卤化物沉淀法	204
12.2.4	螯合沉淀法	205
12.3	铁氧体沉淀法	207
12.3.1	铁氧体	207
12.3.2	铁氧体沉淀法的工艺流程	207
12.3.3	铁氧体沉淀法处理废水举例	208
	习题和思考题	209

<b>13 氧化还原法</b> .....	210
13.1 基本原理 .....	210
13.1.1 无机物的氧化还原 .....	210
13.1.2 有机物的氧化还原 .....	210
13.1.3 影响氧化还原反应的因素 .....	211
13.2 化学氧化法 .....	211
13.2.1 空气氧化法 .....	211
13.2.2 臭氧氧化法 .....	212
13.2.3 氯氧化法 .....	214
13.2.4 高锰酸盐氧化法 .....	216
13.3 化学还原法 .....	216
13.3.1 还原法去除六价铬 .....	216
13.3.2 还原法除汞(Ⅱ) .....	217
13.4 电化学法 .....	217
13.4.1 概述 .....	217
13.4.2 电效率及其影响因素 .....	218
13.4.3 电解氧化还原法 .....	218
13.4.4 电解浮上和电解凝聚 .....	220
13.5 高级氧化法 .....	222
13.5.1 概述 .....	222
13.5.2 典型的高级氧化技术 .....	222
习题和思考题 .....	224
<b>14 化学消毒法</b> .....	225
14.1 概述 .....	225
14.2 化学消毒原理 .....	225
14.3 氯消毒法 .....	227
14.3.1 氯的消毒作用 .....	227
14.3.2 投氯量及投氯点 .....	228
14.3.3 加氯装置 .....	229
14.3.4 应用 .....	230
14.4 其他消毒法 .....	231
14.4.1 二氧化氯消毒法 .....	231
14.4.2 臭氧消毒法 .....	231
14.4.3 紫外消毒法 .....	232
14.4.4 重金属消毒法 .....	232
14.4.5 其他卤素消毒法 .....	232
习题和思考题 .....	233

## 第5篇 溶解态污染物的物理化学分离技术

15 吸附法 .....	234
15.1 基本原理 .....	234
15.1.1 固体表面上的吸附作用 .....	234
15.1.2 等温吸附规律 .....	235
15.1.3 吸附动力学 .....	237
15.1.4 影响吸附的因素 .....	237
15.2 吸附剂 .....	238
15.2.1 活性炭 .....	238
15.2.2 树脂吸附剂 .....	238
15.2.3 腐殖酸类吸附剂 .....	238
15.2.4 其他吸附剂 .....	239
15.3 吸附工艺过程及设备 .....	239
15.3.1 吸附操作方式 .....	239
15.3.2 固定床吸附柱的工作规律 .....	240
15.3.3 吸附装置的设计计算 .....	240
15.4 吸附剂的再生 .....	242
15.5 吸附法在废水处理中的应用 .....	244
15.5.1 含汞废水处理 .....	244
15.5.2 含铬废水处理 .....	244
15.5.3 炼油厂废水处理 .....	244
习题和思考题 .....	245
16 离子交换法 .....	246
16.1 离子交换剂 .....	246
16.1.1 离子交换树脂的结构特征 .....	246
16.1.2 离子交换树脂的种类 .....	247
16.1.3 离子交换树脂的性能 .....	247
16.2 离子交换平衡与交换动力学 .....	249
16.2.1 离子交换平衡 .....	249
16.2.2 离子交换动力学 .....	251
16.3 离子交换工艺过程及设备 .....	251
16.3.1 离子交换工艺过程 .....	251
16.3.2 离子交换设备 .....	254
16.4 离子交换系统的设计 .....	255
16.4.1 离子交换系统的设计步骤 .....	255

16.4.2	固定床的设计计算	255
16.4.3	流动床的设计计算	256
16.5	离子交换法在废水处理中的应用	257
16.5.1	含汞废水处理	257
16.5.2	含镉废水处理	258
16.5.3	含铬废水处理	258
16.5.4	除磷脱氮	259
	习题和思考题	259
17	膜分离法	261
17.1	概述	261
17.2	扩散渗析法	262
17.2.1	基本原理	262
17.2.2	扩散渗析的应用实例	263
17.3	电渗析法	263
17.3.1	基本原理和特点	263
17.3.2	电渗析膜	264
17.3.3	电渗析器	265
17.3.4	电渗析的工艺技术问题和指标	265
17.3.5	电渗析的工艺计算	267
17.3.6	电渗析法在废水处理中的应用	268
17.4	微滤	269
17.4.1	基本原理	269
17.4.2	微滤膜的特点	269
17.4.3	微滤膜	270
17.4.4	微滤技术的应用	270
17.5	超滤法	270
17.5.1	基本原理	270
17.5.2	超滤膜	271
17.5.3	超滤设备和超滤工艺流程	271
17.5.4	超滤技术的应用	272
17.6	反渗透法	272
17.6.1	基本原理	272
17.6.2	反渗透膜	273
17.6.3	反渗透装置	274
17.6.4	反渗透处理系统的计算	276
17.6.5	反渗透法在废水处理中的应用实例	277
17.7	液膜分离技术	278
17.7.1	液膜的结构与液膜的形成	278

17.7.2	液膜材料的选择与液膜分离操作 .....	278
17.7.3	液膜分离技术在处理废水方面的应用 .....	280
	习题和思考题 .....	280
<b>18</b>	<b>溶解态污染物的其他分离方法 .....</b>	<b>281</b>
18.1	吹脱法和汽提法 .....	281
18.1.1	吹脱法 .....	281
18.1.2	汽提法 .....	283
18.2	萃取法 .....	286
18.2.1	分配定律和萃取平衡、萃取速度 .....	286
18.2.2	萃取剂的选择和再生 .....	287
18.2.3	萃取工艺过程 .....	287
18.2.4	萃取设备及计算 .....	288
18.2.5	萃取法在废水处理中的应用实例 .....	290
18.3	结晶法 .....	291
18.3.1	基本原理 .....	291
18.3.2	物料衡算 .....	292
18.3.3	结晶法处理废水举例 .....	292
	习题和思考题 .....	293

## 第6篇 废水的再生利用与排放

<b>19</b>	<b>废水再生利用系统的水质处理 .....</b>	<b>294</b>
19.1	概述 .....	294
19.2	循环冷却水的冷却处理 .....	294
19.2.1	循环冷却水系统 .....	294
19.2.2	水的冷却机理 .....	295
19.2.3	冷却构筑物分类 .....	295
19.2.4	冷却塔的构造 .....	297
19.2.5	冷却塔的设计计算 .....	299
19.2.6	冷却塔的水量损失 .....	303
19.2.7	冷却构筑物的选择 .....	303
19.3	循环冷却水的水质稳定 .....	303
19.3.1	循环水的水质稳定性 .....	304
19.3.2	结垢的控制 .....	306
19.3.3	腐蚀的控制 .....	308
19.3.4	微生物的控制 .....	310
19.4	城市污水的高级处理与再用 .....	311



19.4.1	二级处理后高级处理 .....	311
19.4.2	二级处理强化技术 .....	312
19.5	废水的过滤技术 .....	313
19.5.1	基本原理 .....	313
19.5.2	滤层与垫层 .....	315
19.5.3	过滤工艺过程 .....	316
19.5.4	过滤水头损失分析 .....	318
19.5.5	滤池的反洗 .....	319
19.5.6	配水系统 .....	319
19.5.7	普通快滤池及其设计计算 .....	321
19.5.8	虹吸滤池及无阀滤池 .....	321
19.5.9	压力滤池 .....	322
19.5.10	V形滤池 .....	322
	习题和思考题 .....	323
20	脱氮除磷 .....	324
20.1	氮的去除 .....	324
20.1.1	沸石选择性交换吸附 .....	324
20.1.2	空气吹脱 .....	325
20.1.3	折点氯化 .....	325
20.1.4	生物脱氮 .....	326
20.2	磷的去除 .....	331
20.2.1	化学除磷 .....	331
20.2.2	生物除磷 .....	332
20.3	废水生物脱氮除磷技术 .....	334
20.3.1	A <sup>2</sup> /O工艺 .....	334
20.3.2	改进型Bardenpho(五段)工艺 .....	335
20.3.3	UCT工艺 .....	335
20.3.4	氧化沟脱氮除磷工艺 .....	336
	习题和思考题 .....	336
21	水体自净与废水排放 .....	337
21.1	水体的特征 .....	337
21.1.1	河流 .....	337
21.1.2	湖泊与水库 .....	337
21.1.3	海洋 .....	338
21.2	河流的自净规律 .....	339
21.2.1	河流的自净机理 .....	339
21.2.2	河流的自净模型 .....	340