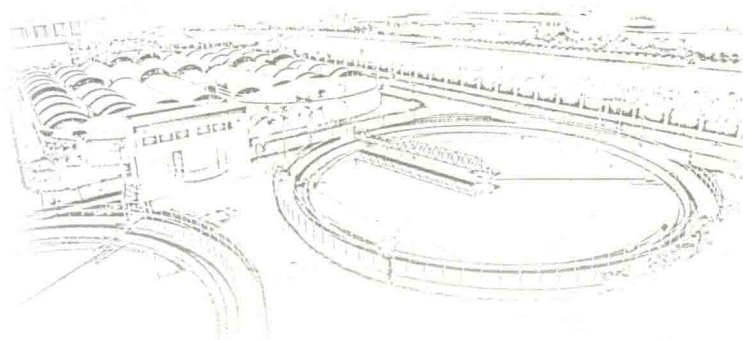




水污染控制工程

*Water Pollution
Control Engineering*



叶林顺◎编著

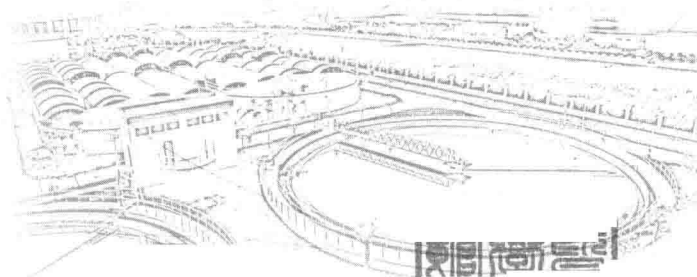


暨南大學出版社
JINAN UNIVERSITY PRESS

水污染控制工程

*Water Pollution
Control Engineering*

叶林顺◎编著



暨南大学出版社
JINAN UNIVERSITY PRESS

中国·广州

图书在版编目 (CIP) 数据

水污染控制工程/叶林顺编著. —广州:暨南大学出版社, 2018. 10
ISBN 978-7-5668-2353-3

I. ①水… II. ①叶… III. ①水污染—污染控制 IV. ①X520.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 060932 号

水污染控制工程

SHUIWURAN KONGZHI GONGCHENG

编著者: 叶林顺

出版人: 徐义雄

责任编辑: 古碧卡 姚晓莉

责任校对: 王燕丽 苏洁 叶佩欣

责任印制: 汤慧君 周一丹

出版发行: 暨南大学出版社 (510630)

电 话: 总编室 (8620) 85221601

营销部 (8620) 85225284 85228291 85228292 (邮购)

传 真: (8620) 85221583 (办公室) 85223774 (营销部)

网 址: <http://www.jnupress.com>

排 版: 广州市天河星辰文化发展部照排中心

印 刷: 佛山市浩文彩色印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

印 张: 20.5

字 数: 496 千

版 次: 2018 年 10 月第 1 版

印 次: 2018 年 10 月第 1 次


定 价: 68.00 元

(暨大版图书如有印装质量问题, 请与出版社总编室联系调换)

国务院侨务办公室立项

彭磷基人才培养改革基金资助

MPR 出版物链码使用说明

本书中凡文字下方带有链码图标“”的地方，均可通过“泛媒关联”App 的扫码功能，获得对应的多媒体内容。

您可以通过扫描下方的二维码下载“泛媒关联”App。



“泛媒关联”App 链码扫描操作步骤：

1. 打开“泛媒关联”App；
2. 将扫码框对准书中的链码扫描，即可播放多媒体内容。

前 言

“水污染控制工程”是相关专业大学生比较难掌握的一门课程，这门课程要求学生背景知识广，既要有学科背景理论知识又要有本学科的技术工程知识。学生比较难把握这门学科知识的系统性、科学逻辑性和技术脉络。本书以水处理流程、处理单元方法和去除对象为线索进行章节架构，读者可以发现本书有如下特点：

(1) 注意处理单元之间、前后内容的关联和学科逻辑，增强可读性；

(2) 力求理论与技术相结合，注重对概念、原理和技术的解释，具体内容上有许多简练易懂的新阐述；

(3) 注意本学科与背景学科的联系；

(4) 每章均配备相关习题；

(5) 读者可用手机下载“泛媒关联”App 扫描浏览每一章的 PPT 课件及习题中的扩充阅读，这些扫码内容是本书内容的很好补充。

少数带“*”的内容可供有兴趣深入学习的读者参考。

本书终于与读者见面了，希望读者在使用本教材时有所收获，并欢迎提出宝贵意见和建议。

暨南大学环境学院潘涌璋教授提出了宝贵的修改意见，暨南大学环境学院李梦萱老师提供了及时的帮助，叶陶然为书中插图做了许多工作，王雅妮细致地校正书稿，在此对他们致以衷心的感谢。本书曾经作为自编教材使用，得到部分学生对本书的反馈意见，在此表示感谢。

本书编写获得了国务院侨务办公室立项，由彭磷基人才培养改革基金资助，暨南大学环境学院提供了部分经费支持，特此感谢。

叶林顺

2017 年 12 月于暨南园

目 录

前 言	1
绪 论	1
第 1 章 水处理方法和处理系统概论	5
1.1 处理水量	5
1.2 水质指标	5
1.3 处理单元和处理系统概要	8
1.3.1 处理单元概要	8
1.3.2 处理系统构筑及构筑原则	9
1.3.3 处理单元和处理系统的评价	10
1.4 污染物去除动力学及其相关因素	11
1.4.1 处理单元构筑物或反应器和水流流态	11
1.4.2 污染物去除动力学	12
1.5 污染物去除过程的平衡状态和稳态	14
习题	14
第 2 章 物理处理法	15
2.1 截留	15
2.1.1 格栅和筛网	15
2.1.2 影响截留的因素	18
2.2 进水的提升和调节	18
2.2.1 进水的提升	18
2.2.2 水质和流量的调节	18
2.3 重力分离法	22
2.3.1 沉淀的基础理论	22
2.3.2 理想沉淀池	25
2.3.3 沉砂池	31
2.3.4 沉淀池和设计	34
2.3.5 油珠上浮分离	49
2.3.6 重力分离效果的影响因素	51
2.4 离心分离	53

2.4.1	离心分离原理	53
2.4.2	水力旋流沉砂池和砂水分离器	54
2.5	过滤	55
2.5.1	滤床过滤分类	55
2.5.2	过滤机理	57
2.5.3	普通快滤池的构造和运行	58
	习题	61
第3章	化学处理法	62
3.1	混凝法	62
3.1.1	混凝原理	62
3.1.2	混凝剂和助凝剂	68
3.1.3	混凝动力学	73
3.1.4	影响混凝效果的主要因素	78
3.1.5	絮凝沉降	80
3.1.6	混凝设备和工艺流程	80
3.2	化学沉淀法	83
3.2.1	基本原理	83
3.2.2	阳离子沉淀	84
3.2.3	阴离子沉淀	85
3.3	中和法	86
3.3.1	酸碱性废水处理概要	86
3.3.2	酸碱性废水处理	86
3.4	氧化还原处理法	88
3.4.1	普通氧化法和高级氧化法	88
3.4.2	还原法	92
3.4.3	氧化还原法的应用	92
	习题	96
第4章	物理化学处理法	98
4.1	吸附处理法	98
4.1.1	三种吸附类型	98
4.1.2	吸附剂	99
4.1.3	吸附等温线和热力学	105
4.1.4	吸附动力学和影响吸附速度的因素	106
4.1.5	吸附和离子交换工艺	108
4.2	气浮法	113
4.2.1	细微气泡与悬浮物黏附热力学	114

4.2.2	细微气泡产生方法和不同类型的气浮法	118
4.2.3	设计计算	125
4.3	萃取法	127
4.3.1	物理萃取的相间传质速率和萃取速率	128
4.3.2	萃取剂的选择	129
4.3.3	萃取工艺和设备	130
4.4	膜分离	131
4.4.1	渗析法	132
4.4.2	电渗析处理法	132
4.4.3	压力驱动膜分离	138
	习题	149
第5章	生物处理法基础理论和反应器	152
5.1	微生物的新陈代谢	152
5.1.1	微生物的呼吸	152
5.1.2	好氧生物处理	154
5.1.3	厌氧生物处理	154
5.2	微生物的生长规律及影响其生长的条件	155
5.2.1	微生物的生长曲线	155
5.2.2	影响微生物生长的相关因素	156
5.3	反应速度	157
5.4	米歇里斯—门坦方程式	157
5.4.1	酶促反应的中间产物假说	157
5.4.2	米氏方程式	158
5.4.3	米氏常数的测定	158
5.5	微生物群体增长速率——莫诺特方程式	158
5.6	底物降解速率	159
5.7	生物处理工程的基本数学式	159
5.8	生物反应器和重要参数	161
5.8.1	悬浮生长微生物反应器	161
5.8.2	附着生长微生物反应器——生物膜反应器	163
5.8.3	复合生长生物处理法	166
5.8.4	生物处理反应器的重要工艺参数	166
	习题	168
第6章	厌氧生物处理法	170
6.1	厌氧生物处理的基本原理	170
6.2	厌氧反应器的分类和工艺	173

6.2.1	厌氧反应器的类型	173
6.2.2	厌氧反应器的发展	174
6.2.3	厌氧接触法	174
6.2.4	厌氧生物滤池	175
6.2.5	厌氧生物转盘	176
6.2.6	上流式厌氧污泥床反应器	176
6.2.7	厌氧颗粒污泥膨胀床反应器	183
6.2.8	厌氧复合床反应器	184
6.2.9	两相厌氧消化工艺	185
6.2.10	厌氧水解酸化作为好氧处理的预处理	185
习题		187
第7章 活性污泥法		188
7.1	活性污泥	188
7.2	活性污泥反应池的水力状态	190
7.3	曝气池内气体传递原理和技术	191
7.3.1	双膜理论和界面传氧速度	191
7.3.2	实际条件对氧传递速度关系的修正和供气量的计算	192
7.3.3	曝气设备	194
7.4	活性污泥法处理系统	201
7.5	好氧活性污泥去除有机物流程简介	201
7.6	脱氮、除磷和脱氮除磷活性污泥法工艺	210
7.6.1	生物脱氮理论和工艺	211
7.6.2	生物除磷	216
7.6.3	生物脱氮除磷	219
7.7	活性污泥处理系统计算公式	222
7.7.1	曝气池计算公式	222
7.7.2	生物脱氮和生物除磷的设计计算	224
7.7.3	其他计算公式	226
7.8	活性污泥法的设计计算实例	228
7.9	活性污泥的重力固液分离和污泥膨胀	230
7.9.1	二次沉淀池概述	230
7.9.2	二次沉淀池的设计	231
7.9.3	污泥膨胀	232
7.10	活性污泥反应池和二次沉淀池之间互相关联的问题	235
习题		239

第 8 章 生物膜法	243
8.1 基本原理	243
8.1.1 生物膜反应器分类	243
8.1.2 影响生物膜法处理效果的主要因素	244
8.1.3 生物膜反应器的特征	246
8.2 传统生物滤池	247
8.2.1 传统生物滤池的构造和流程	247
8.2.2 传统生物滤池的设计和计算	251
8.3 生物转盘	254
8.3.1 生物转盘的构造和污染物去除过程	254
8.3.2 生物转盘的工艺和参数	255
8.3.3 生物转盘的设计计算	257
8.3.4 生物转盘的进展	257
8.4 生物接触氧化法	258
8.4.1 构造和流程	258
8.4.2 设计计算	259
8.4.3 生物接触氧化的特点	260
8.5 曝气生物滤池	261
8.5.1 概述	261
8.5.2 构造和工作原理	261
8.5.3 工艺流程	263
8.5.4 曝气生物滤池的流程和设计计算	266
8.5.5 曝气生物滤池的特点	267
8.6 好氧生物流化床	267
8.6.1 流化基本原理	267
8.6.2 流化床的类型	268
8.7 生物膜法的运行和管理	270
习题	270
第 9 章 自然处理法	273
9.1 稳定塘	273
9.1.1 概述	273
9.1.2 厌氧塘	273
9.1.3 好氧塘	274
9.1.4 兼性塘	276
9.1.5 完全混合曝气塘	277
9.1.6 稳定塘系统工艺流程的其他问题	277
9.2 污水土地处理	278
9.2.1 土地处理系统的净化机理	278

9.2.2	土地处理基本工艺简介	279
9.2.3	土地处理基本工艺设计	281
9.3	湿地处理系统	281
9.3.1	人工湿地流程	281
9.3.2	水生植物的选择	283
9.3.3	设计	284
	习题	286
第10章	污泥处理和处置	287
10.1	污泥的来源和性质指标	287
10.1.1	污泥的种类	287
10.1.2	污泥量及其性质指标	288
10.2	污泥处理	289
10.2.1	污泥浓缩	289
10.2.2	污泥消化	295
10.3	污泥的脱水和调理	299
10.3.1	污泥过滤脱水	300
10.3.2	污泥离心脱水	305
10.3.3	污泥调理	305
10.4	污泥的最终处置	306
10.4.1	卫生填埋	306
10.4.2	土地利用	307
10.4.3	污泥焚烧	307
	习题	308
第11章	水污染控制工程设计	309
11.1	设计资料	309
11.1.1	设计基本资料	309
11.1.2	自然资料	309
11.1.3	设计支撑性资料	309
11.2	设计原则	310
11.3	设计书的主体内容	310
11.3.1	工艺流程选择和设计计算	310
11.3.2	厂区的平面设计和高程设计	311
11.4	水污染控制工程从建造到投产与管理	312
	习题	313
	参考文献	314



绪 论

1. 水的基本价值和水处理的意义

水是生命之源，也是文明之源。它滋养着地球和地球上的万物生灵。水文化蕴意深刻、丰富多彩。水可以秀丽万分，被人们无限地赞美；显微镜下的水是那样的纯洁和美丽。但是水也可能被污染，因此还原水的本色、治理水污染是一种高尚的事业。

从水中去除其他物质不是易事，因为不同污染物的性质及浓度常常千差万别、水质水量又往往存在变化等，所以需要从从业者借助各种技术手段以及付出不懈的努力才能经济、稳定、高效地去除水中污染物以达到出水水质要求。

2. 水污染控制工程的主要任务

水污染控制工程控制的“水”包括所有受到污染的水，如生活污水、农业生产污水、工业废水、地表水、地下水或饮用水、海水和降水。本书主要讨论生活污水、工业废水的处理，偶尔也讨论其他水的问题。在本书中常见到表述“水处理”，这里的“水”包括生活污水、工业废水等。为了叙述方便也将待处理的生活污水、工业废水等统称为原水或进水，工业废水和生活污水有时也分别简称为废水和污水。

概括地讲，水污染控制工程的主要任务是将受污染的水经过处理使水质达到各种排放标准或使用标准的法定值，并防控二次污染。在符合经济学原则下出水回用并回收有用资源，保护我们赖以生存的水环境。

水处理工程执行的排放标准有很多，如：①《污水综合排放标准》（GB8978—1996）及其他部分替代标准，表1列出了第一类污染物最高允许排放浓度。②《污水排入城镇下水道水质标准》（GB/T31962—2015）。③《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB18918—2002），表2列出了该标准基本控制项目的最高允许排放浓度。④国家地表水环境质量标准（GB3838—2002）。

表1 污水综合排放标准中第一类污染物最高允许排放浓度

序号	污染物	最高允许排放浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	序号	污染物	最高允许排放浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
1	总汞	0.05	6	总砷	0.5
2	烷基汞	不得检出	7	苯并(a)芘	0.000 03
3	总镉	0.1	8	总铍	0.005
4	总铬	1.5	9	总银	0.5
5	六价铬	0.5	10	总 α 放射性	$1\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$

(续上表)

序号	污染物	最高允许排放浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	序号	污染物	最高允许排放浓度 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
11	总镍	1.0	13	总 β 放射性	$10\text{Bq} \cdot \text{L}^{-1}$
12	总铅	1.0			

表2 城镇污水处理厂基本控制项目最高允许排放浓度(日均值) 单位: $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

序号	基本控制项目		一级标准		二级标准	三级标准
			A标准	B标准		
1	化学需氧量		50	60	100	120
2	生化需氧量		10	20	30	60
3	悬浮物		10	20	30	60
4	动植物油		1	3	5	20
5	石油类		1	3	5	15
6	阴离子表面活性剂		0.5	1	2	5
7	总氮		15	20		
8	氨氮		5 (8)	8 (15)	25 (30)	
9	总磷	2005年12月31日之前建设	1	1.5	3	5
		2006年1月1日之后建设	0.5	1	3	5
10	色度(稀释倍数)		30	30	40	50
11	pH		6~9			
12	大肠杆菌(每升水中大肠杆菌数)		10^3	10^4	10^4	

注: 括号外数值为水温 $>12^\circ\text{C}$ 时的控制指标, 括号内数值为水温 $\leq 12^\circ\text{C}$ 时的控制指标。

3. 学习任务和学习方法

(1) 学习任务。

学习水处理的原理、方法、工艺、设计和运行管理的基础知识, 获得一定的设计和运行管理能力。

所需要的知识背景: 无机化学、有机化学、分析化学、物理化学、化工原理、高等数学、大学物理、微生物学、环境监测、环境影响评价、水力学、系统论等课程。本课程的知识背景包含多学科的内容。凡事预则立, 学习这门课程的“预”就是要求学习者要有良好的背景知识, 因此需要学习者为之努力。

(2) 学习方法。

① 污染物去除的基本途径是分离和分解。

它们的分离或分解总是按一定规律进行的, 学习根据每一个或某一类污染物的性质把握处理方法, 根据污染物去除顺序和单元处理方法把握处理流程。每一个单元处理总是在

一定条件下进行的, 这些条件包括进水的预处理、污染物去除过程中的条件控制、设施设备控制参数和构筑物的结构参数。

②将处理单元的去除对象、进水要求、出水水质和处理单元结合起来。

针对各种废水、污水特点和处理要求, 熟悉各种处理方法, 建立合理的处理流程。

掌握和调查各种进水的污染物成分、浓度和变化, 水量变化, 各种影响因素和变化, 以及各种影响因素的关联和因素链; 在设计和管理上怎样面对这些问题, 在学习上如何理解这些互相关联的问题。

③掌握思维特点, 建立起本课程的思维方法。

认识由监控系统和管道连接的反应器或构筑物构成的处理单元和处理系统。注意几个物质流即水流、污染物流、污泥流、气体流、新生的物质流、外加物质流、能量流。了解这些物质流的来龙去脉、它们之间的作用及污染物的去除过程。

建立抽象思维, 运用背景学科知识并结合水处理技术、污染物去除过程, 建立起各个单元处理和水污染控制工程的思维方法。

④了解水污染控制工程的材料和设施。

去除水中污染物用到许多材料和设施, 材料如生物膜附着的载体、分离膜、分散空气的多孔扩散板、过滤用到的滤料等; 药剂如浮选剂、混凝剂、吸附剂、消毒剂、污泥脱水调理剂、氧化剂、还原剂、沉淀剂、催化剂等; 物理性粒子流如光、声、电; 生物性物质如细菌、真菌、霉菌、藻类、植物甚至动物等。设施包括设备和构筑物。用到很多能量输送设备、物质输送设备和水处理特殊设备, 如鼓风机、曝气头、压滤机、电机、泵、离心机、搅拌机、管道、臭氧发生器等。涉及许多构筑物, 如处理池、塔或罐。这些材料和设施如何建造、制造、制备、产生或获得, 属于这个课程的广义内容, 不完全在本课程的学习范畴。但是要了解材料、设备和构筑物在去除污染物中直接应用或产生的作用和影响。

⑤学会应用背景知识。

本课程有自身的学科规律, 需把握好与基础学科内容的连贯性与不同点, 不能生搬硬套背景学科知识, 因为知识运用的要求、目的、过程等都有所不同。

⑥在处理系统中把握处理单元方法的联系。

国内外学者通常以单元处理法来讨论该课程。每一个单元的内容基本上都是从去除对象、去除过程和速度、设备、构筑物、处理效果、影响因素、稳定性等方面来展开的。在学习时要常常思考各种单元处理法是怎样联系在一起的, 需要到处理系统中把握处理单元方法的联系。那么, 处理系统又是如何建立起来的呢? 这需要从处理水量和进水的水质、各种单元的去除对象和在处理系统中的合理性、处理要求、经济学分析等方面来考虑。也可以撇开具体的流程系统抽象地分析各个单元处理的广泛联系, 比如处理系统中的空间联系、后一个单元对前一个处理单元的处理结果的要求、前面处理单元对后面处理的影响。

⑦多问问题。

正如《问说》所言: “君子之学必好问。问与学, 相辅而行者也。非学无以致疑, 非问无以广识; 好学而不勤问, 非真能好学者也。”

“What”: 这个处理方法或单元可以去除什么污染物? 影响因素有哪些? 去除这些污染物或这个污染物有什么方法?

“How”：污染物是怎样去除的？这些因素是怎样影响处理效果的？这个处理单元或处理系统怎样才能达到良好的处理效果？

“Where”：进水中的各种污染物是在哪里去除的？

“Why”：处理这种废水为什么可以用这个流程？这个工艺流程或工艺为什么有这些优点或缺点？为什么会出现这个现象？

总结起来就是“四 W”。

总之，学习中会遇到很多问题，肯学习、善思考的人总会提出许多问题。善于提问是求学的一把钥匙。



第 1 章 水处理方法和处理系统概论

1.1 处理水量

污染源的污水排放量或进入水处理系统的流量 Q 是水处理的第一问题，它与许多问题相关。首先是与污水在有效容积 V 的构筑物内的停留时间有关，称为平均水力停留时间 t_h 或 HRT (Hydraulic Retention Time)，三者关系是：

$$t_h \text{ 或 } HRT = \frac{V}{Q} \quad (1-1)$$

有效容积指构筑物在实际运行中可容纳水的体积。如果污染物在构筑物内一直是随水流动，HRT 也是污染物在构筑物内的平均停留时间；如果在构筑物内装有填料，而且污染物在填料上停留，则这些污染物的停留时间与水力停留时间不同。

假设污水中各种污染物的浓度是 c_i ，单位时间进入处理系统的污染物质是 Qc_i ，那么各种污染物必须在相应的构筑物内停留一定时间才能被去除，达到出水水质要求。因此水量 Q 是影响污水处理系统出水水质的基本因素之一。 t_h 随流量 Q 的波动而变化。引起污水流量 Q 波动的最主要因素可能是降水、下水的收集和输送。

城区应采用分流制排水系统将污水和降水分别各自独立地经管道收集，污水输送至污水处理厂处理后达标排放至收纳水体。雨水经雨水管道收集后，通过雨水泵站提升排入收纳水体。要保证分流制排水系统的两种下水收集系统各自独立安全运行。否则可能造成无法挽回的损失。近些年，城市内涝甚至城区“洪水”每年都在不少城市上演。如果大量降水进入下水系统，会导致进入水厂的水量水质发生很大波动，严重威胁水处理厂的稳定运行。

在工业企业中，用管道将厂内各车间及其他排水口所排出的不同性质的废水收集起来，送至废水回收利用和处理构筑物。特别需要注意废水的分类收集，以利于分类处理。科学合理评估合并处理。经回收处理后的水可再利用或达标排入收纳水体，或达标排入城市排水系统。

1.2 水质指标

学习者要知道原水水质指标和水质特征、指标值的内涵，降低这些污水指标的方法以及对去除别的污染物的影响，甚至要追索这些污染物的来源。要了解、掌握每个单元和处理系统的进出水和处理过程中这些指标的变化。