
废水生物处理新技术

张忠祥 钱 易 主编 顾夏声 胡纪萃 审

清华大学出版社

废水生物处理新技术

张忠祥 钱 易 主编 顾夏声 胡纪萃 审

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书全面系统地介绍了近年来国内外开发研究和实际应用的各种废水生物处理技术和工艺,对各种工艺技术的特征、设计参数、处理效果、应用范围及应用实例均进行了详尽的分析和说明。全书共 35 章,内容包括当前国内外废水生物处理技术的发展动向,改良的活性污泥法和生物膜法,各类厌氧生物处理工艺,城市废水的天然净化系统,城市废水回用工艺技术,污泥处理、处置与利用工艺技术,工业废水和城市废水的合并处理,城市污水处理厂的设计、运行及自动控制系统,等等。最后还介绍了当前国内城市污水处理厂的建设状况及水质标准等信息资料。

本书可供环境保护科技人员和管理人员使用,也可作为高等院校环境专业的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

废水生物处理新技术/张忠祥,钱易主编. —北京:清华大学出版社,2004
ISBN 7-302-06820-8

I. 废… II. ①张… ②钱… III. 废水处理:生物处理 IV. X703.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 050534 号

出 版 者: 清华大学出版社
<http://www.tup.com.cn>
社 总 机: 010-62770175

地 址: 北京清华大学学研大厦
邮 编: 100084
客 户 服 务: 010-62776969

责任编辑: 柳 萍

封面设计: 郑 勉

版式设计: 刘祎森

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

装 订 者: 三河市印务有限公司

发 行 者: 新华书店总店北京发行所

开 本: 185×260 印张: 63.75 字数: 1453 千字

版 次: 2004 年 2 月第 1 版 2004 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-06820-8/X·49

印 数: 1~3000

定 价: 98.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、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)62770175-3103 或(010)62795704

前言

水是人类生存与发展最宝贵的自然资源。进入 21 世纪,人类面临着洪涝灾害、干旱缺水及水环境恶化的挑战。在我国,人口的增长、经济的发展、城市化进程的加速,都给水资源的开发与利用带来巨大压力,许多城市水资源短缺严峻。同时,水污染仍未得到基本控制,水环境与水生生态状况依然十分严峻,威胁着人类的生存与发展。因此,保护水资源,治理水污染,维护水环境及水生生态的均衡,对污染的江河湖海进行综合整治,已成为刻不容缓的任务。

近 20~30 年来,特别是近 10 多年来,全世界的环境科学技术和环境保护产业的发展日新月异,许多治理废水、保护水环境的可持续工艺与技术不断开发和推广使用。一些新概念、新思路、新工艺、新技术、新材料和新设备逐渐取代了那些过时的老概念、老想法、老工艺、老技术、老材料和老设备。展现给人们一种“革命”的新气象。信息时代的到来,数字技术的开发,使人们在错综复杂、多样化的世界面前眼花缭乱,人们需要不断地再学习才能跟上时代前进的步伐。有鉴于此,可以认为十分有必要将当前一些废水、污泥处理及水污染防治的新概念、新工艺技术,以及国内外的新研究成果和工程应用实例作为对象,加以消化总结,使之传播,以促进我国目前正蓬勃兴起的废水治理和水环境保护事业的发展。

经过两年的努力,本书终于撰写完成,参与本书撰写的作者是清华大学(或清华大学毕业)和北京市环境科学研究院等单位长期从事废水处理教学和科研的人员。由于掌握的信息资料不尽齐全,可能存在欠缺和谬误之处,敬请批评指正。

参加本书撰写的作者如下(按章的次序排列):

张忠祥(第 1、4、5、6、7、9、12、14、27、32、34、35 章与附录)

钱易(第 2、8 章)

周律(第 3、28 章)

邬扬善(第 10、11、13、29 章)

王凯军(第 15、31 章)

胡纪萃(第 16、17、18 章)

前 言

II

王建龙(第 19、23 章)

周琪(第 20 章)

左剑恶(第 21 章)

黄霞(第 22、26 章)

施汉昌(第 24 章)

文湘华(第 25、30 章)

田宁宁(第 31 章)

汪诚文(第 33 章)

张恩荣(第 35 章)

全书恭请顾夏声院士和胡纪萃教授审阅。

作 者

2003 年 9 月

目录

第 1 篇 总 论

1 我国水污染的形势和防治任务	3
1.1 我国主要水体的水质与污染状况	3
1.1.1 主要河流的水质状况	3
1.1.2 淡水湖泊、水库的水质状况	4
1.1.3 地下水的水质状况	5
1.1.4 近海海域的水质状况	6
1.2 水污染源与主要污染物	7
1.2.1 废水和主要污染物的排放量	7
1.2.2 畜禽养殖业废水	8
1.2.3 农药和化肥的污染	9
1.3 水污染造成的损失	10
1.4 我国水污染发展趋势分析及防治对策与策略	11
1.4.1 我国水污染发展趋势分析	11
1.4.2 我国水污染防治的对策与策略	12
参考文献	19
2 废水生物处理技术的发展和前景	20
2.1 废水生物处理技术的原理及其功能分析	20
2.2 废水生物处理技术的发展	23
2.2.1 在废水生物处理微生物学方面的进步	24
2.2.2 废水生物处理反应器的发展	25
2.2.3 废水生物处理工艺流程的新组合	27
2.2.4 对废水生物处理技术的经济评价	28
2.3 废水生物处理技术前景展望	29
参考文献	30

第 2 篇 改良的活性污泥法

3 氧化沟活性污泥法	33
3.1 氧化沟的发展历史与现状	33
3.2 氧化沟的基本原理与技术特征	35
3.2.1 氧化沟的基本原理	35
3.2.2 氧化沟的技术特征	35
3.3 氧化沟的工艺流程类型与设计	39
3.3.1 氧化沟的工艺流程类型	39
3.3.2 氧化沟的工艺系统设计	49
3.4 氧化沟的运行条件与特性	52
3.4.1 营养物去除	52
3.4.2 高负荷氧化沟的运行效果	57
3.4.3 氧化沟的污泥性质	57
3.5 氧化沟活性污泥法的主要设备	58
3.5.1 曝气设备	59
3.5.2 混合设备	63
3.5.3 氧化沟进出水装置	63
3.5.4 在线实时检测仪表设备	64
3.6 工程实例——河北省邯郸市东污水处理厂	65
参考文献	69
4 A-B 活性污泥法	71
4.1 概述	71
4.2 A-B 法基本工艺流程与原理	72
4.2.1 A-B 法基本工艺流程	72
4.2.2 A-B 法的基本原理	72
4.3 具有脱氮除磷功能的 A-B 法	74
4.3.1 具有硝化-反硝化功能的 A-B 法	74
4.3.2 A-B 法除磷	75
4.3.3 具有同时脱氮除磷功能的 A-B 法	76
4.4 技术参数与设计计算	77
4.4.1 A-B 法的有关技术参数	77
4.4.2 A-B 法反硝化系统的设计参数	80
4.4.3 A-B 法的设计计算实例	81
4.5 A-B 法的工程实例	83
参考文献	99

5 序批式活性污泥法	100
5.1 序批式活性污泥法(SBR法)概述	100
5.2 SBR法的基本原理	102
5.3 SBR法的生物脱氮除磷功能与运行程序	103
5.4 SBR工艺的设计	105
5.5 SBR系统的构筑物与设备	111
5.6 SBR法的运行与控制	115
5.7 SBR法的工程实例与实际应用	117
5.7.1 SBR法在城市废水处理中的应用	117
5.7.2 SBR法在工业废水处理中的应用	120
参考文献	125
6 序批式生物反应器法的变型与应用	127
6.1 概述	127
6.2 间歇循环延时曝气法	128
6.2.1 工艺流程与运行原则	128
6.2.2 工艺特点	128
6.2.3 净化效果	129
6.3 循环活性污泥法	130
6.3.1 循环活性污泥法概述	130
6.3.2 工艺流程与循环操作过程	130
6.3.3 CASS法的主要优点与特点	132
6.3.4 主要设计参数	132
6.3.5 CASS法处理城市废水的净化效率	133
6.3.6 CASS法与若干废水生物处理法处理城市废水的费用比较	133
6.3.7 CASS法在国外的应用状况	133
6.3.8 CASS法在国内的应用工程实例	134
6.4 连续进水-间歇出水式活性污泥曝气池法	136
6.4.1 工艺流程	136
6.4.2 工程实例	138
6.5 改良型序批式生物反应器	140
6.6 Unitank®废水处理系统	143
6.6.1 Unitank®系统概述	143
6.6.2 Unitank®系统的工艺特点	144
6.6.3 Unitank®系统的工艺流程与运行特征	144
6.6.4 Unitank®系统的脱氮除磷	146
6.6.5 Unitank®系统的系列和种类	147
6.6.6 Unitank®系统的监测控制系统	147

6.6.7	Unitank®系统工程应用实例	149
6.7	氧化沟型 SBR 法	155
	参考文献	158
7	OCO 法与 BIOLAK 法废水生物处理技术	160
7.1	概述	160
7.2	OCO 法的工艺描述与特征	161
7.2.1	OCO 法的工艺描述	161
7.2.2	OCO 法的构造特征与运行特征	162
7.3	OCO 法工艺技术的优点和特点	164
7.4	OCO 法系统内曝气、供氧量与 DO 控制及混合液循环	164
7.5	OCO 法污水处理厂的净化效率	166
7.6	OCO 法的工艺与流程设计	166
7.7	OCO 法工艺技术的推广应用	168
7.8	BIOLAK 法工艺发展及其特点	169
7.9	BIOLAK 工艺的设备与运行	170
7.10	BIOLAK 法的污泥处置	172
	参考文献	172
8	深井曝气法	173
8.1	概述	173
8.2	深井曝气池的构造及深井曝气法的工艺流程	173
8.2.1	深井曝气池的构造	173
8.2.2	深井曝气法的工艺流程	174
8.3	深井曝气法的主要优点	175
8.4	深井曝气法的设计计算	177
8.5	深井曝气法应用实例	180
	参考文献	183
9	投料活性污泥法	184
9.1	概述	184
9.2	多孔悬浮载体活性污泥法	185
9.2.1	工艺原理	185
9.2.2	发展与分类	186
9.2.3	工艺特性与运行特点	187
9.2.4	工程应用实例	188
9.3	投加混凝剂(或助凝剂)的活性污泥法工艺	191
9.3.1	工艺原理	191

9.3.2	处理工艺	191
9.3.3	混凝剂的种类与选用及投配量	192
9.3.4	净化效果与污泥特性	192
9.3.5	工程应用实例	194
9.3.6	投加微生物絮凝剂的活性污泥工艺	194
9.4	投加细颗粒流动载体的活性污泥工艺	196
9.4.1	投加粉末活性炭的活性污泥工艺	196
9.4.2	投加其他小颗粒介质载体的活性污泥工艺	201
	参考文献	202

第3篇 好氧生物膜法

10	生物滤池	205
10.1	生物滤池的发展历史与应用概况	205
10.2	生物滤池的构造和净化原理	206
10.3	生物滤池工艺流程的选用与比较	208
10.3.1	处理目标	208
10.3.2	填料类型	209
10.3.3	生物滤池-活性污泥串联系统	211
10.3.4	工艺选用	213
10.4	影响生物滤池净化功能的控制因素	214
10.4.1	负荷	215
10.4.2	回流	217
10.4.3	填料床深度	218
10.4.4	温度	219
10.4.5	通风	220
10.4.6	填料类型	220
10.4.7	布水器构造	222
10.4.8	废水特性	223
10.4.9	出水总悬浮固体的影响	223
10.5	生物滤池工艺设计	224
10.5.1	用“黑箱关系”设计生物滤池	225
10.5.2	用负荷法设计生物滤池	225
10.5.3	通风系统设计	229
10.5.4	生物滤池后续活性污泥法工艺设计	230
10.6	生物滤池运行方式	236
10.6.1	典型的运行管理	236
10.6.2	串联工艺运行管理	237

10.6.3	有害生物的控制	238
10.7	工程应用实例	238
	参考文献	240
11	生物转盘	241
11.1	概述	241
11.2	工艺选择和评价	244
11.2.1	处理目标	244
11.2.2	转盘驱动方式和选用	244
11.2.3	工艺优缺点评价	245
11.2.4	典型应用	246
11.3	运行影响因素	246
11.3.1	有机负荷	247
11.3.2	水力负荷	249
11.3.3	分级	250
11.3.4	温度	251
11.3.5	废水特性	252
11.3.6	生物膜特性	252
11.4	工艺参数与设计计算	253
11.4.1	可生物降解有机物的去除	253
11.4.2	单独硝化	258
11.4.3	碳氧化和氮硝化合并处理	259
11.4.4	导试研究	261
11.4.5	转盘设计的一些考虑因素	265
11.5	运行	266
11.6	工程应用——淮阴市北京新村污水处理厂实例	266
11.6.1	工艺流程	266
11.6.2	运行情况	267
11.6.3	与传统工艺比较	268
11.6.4	存在的问题	269
11.6.5	结论	270
	参考文献	270
12	生物流化床技术	271
12.1	生物流化床开发与应用概述	271
12.2	生物流化床的基本原理与特征	277
12.2.1	生物流化床的基本原理	277
12.2.2	生物流化床的类型与工艺流程	281

12.3	内循环三相好氧生物流化床的技术特征、工艺参数与构造	284
12.4	设计方法	286
12.4.1	选择载体种类,确定技术参数	286
12.4.2	反应器的计算	287
12.5	生物流化床的科研成果与工程应用实例	291
12.5.1	生产性规模应用实例	291
12.5.2	生物流化床的实验室及半生产性试验研究实例与研究成果	292
	参考文献	296
13	生物接触氧化法	297
13.1	生物接触氧化法的由来和发展	297
13.1.1	由来及主要特征	297
13.1.2	国内外的开发	297
13.1.3	近期国内新发展	301
13.2	生物接触氧化法的特点与高效原因	309
13.2.1	特点	309
13.2.2	高效原因	311
13.3	生物接触氧化法的装置与构筑物	314
13.3.1	构造	314
13.3.2	型式	315
13.4	填料特性与选用	318
13.4.1	填料特性和要求	318
13.4.2	填料种类与选用	319
13.5	曝气系统选择	322
13.6	设计计算	322
13.6.1	填料系统的设计计算	323
13.6.2	曝气系统的设计计算	329
13.6.3	排泥系统设计	333
13.6.4	过程控制设计	333
13.7	工程应用实例	333
13.7.1	微污染水源水预处理	333
13.7.2	城市废水处理	334
13.7.3	石油化工废水处理	338
13.7.4	印染废水处理	340
13.7.5	高浓度抗生素废水处理	345
	参考文献	347

X	14 曝气生物滤池	349
	14.1 曝气生物滤池的发展历史及在国内外研究与应用情况	349
	14.2 BAF 的构造、分类及性能	355
	14.2.1 BAF 的构造	355
	14.2.2 BAF 的分类	355
	14.2.3 滤料	356
	14.2.4 具有硝化与反硝化功能的 BAF	356
	14.3 BIOFOR 型 BAF	359
	14.3.1 BIOFOR 型 BAF 的种类	360
	14.3.2 BIOFOR 型 BAF 的特点	361
	14.3.3 BIOFOR 型 BAF 的优点	361
	14.3.4 BIOFOR 型 BAF 的技术参数	362
	14.3.5 BIOFOR 型 BAF 的滤料	362
	14.3.6 BIOFOR 型 BAF 的曝气装置	362
	14.3.7 BIOFOR 型 BAF 的预处理	363
	14.3.8 BIOFOR 工艺技术的应用	364
	14.4 BIOSTYR 型 BAF	365
	14.4.1 BIOSTYR 型 BAF 的工作原理	365
	14.4.2 BIOSTYR 型 BAF 的结构特点	367
	14.4.3 BIOSTYR 型 BAF 的优点	367
	14.4.4 BIOSTYR 型 BAF 系统的设计参数	368
	14.5 Tetra Colox 型 BAF	369
	14.6 BIOPUR 型 BAF	369
	14.7 BIOCARBONE 型 BAF	371
	14.8 应用实例	372
	14.9 开发及研究的方向	376
	参考文献	377
	15 水解-好氧处理工艺	378
	15.1 基本原理与工艺特点	378
	15.1.1 基本原理	378
	15.1.2 水解-好氧工艺的开发	379
	15.1.3 水解(酸化)工艺与厌氧发酵的区别	379
	15.2 水解-好氧工艺的示范工程	382
	15.2.1 北京高碑店污水处理厂	382
	15.2.2 北京密云污水处理厂	383
	15.3 水解工艺对后续生物处理工艺的影响	384
	15.4 水解工艺的进一步开发和应用	386

15.4.1	芳香类化合物的水解及酸化	386
15.4.2	萘的水解与降解	387
15.4.3	卤代烃的水解与降解	388
15.4.4	处理难降解工业废水的实际应用	389
15.5	水解工艺的污泥处理	391
15.5.1	污泥处理的目的和手段	391
15.5.2	污泥中有机物的降解率	391
15.5.3	水解污泥的沉降与浓缩性能	392
15.5.4	水解污泥的脱水性能	392
15.5.5	污泥在生产装置条件下的脱水运行	393
15.6	水解-好氧串联工艺与传统处理工艺的技术经济比较	394
15.6.1	水解工艺的适用范围及要求	394
15.6.2	不同类型废水的工艺设计参数	394
15.6.3	水解-好氧工艺技术经济分析	395
	参考文献	397

第 4 篇 厌氧生物处理法

16	UASB 反应器	401
16.1	UASB 反应器的构造特点	401
16.2	UASB 反应器厌氧颗粒污泥的形成及其性质	403
16.2.1	概述	403
16.2.2	厌氧颗粒污泥形成的条件	404
16.2.3	厌氧颗粒污泥的形成机理	405
16.2.4	厌氧颗粒污泥的基本性质	406
16.3	UASB 反应器的设计	408
16.3.1	UASB 反应器所需容积及主要尺寸的确定方法	409
16.3.2	UASB 反应器进水分配系统的设计	413
16.3.3	三相分离器的设计	415
16.3.4	排泥系统的设计	419
16.3.5	UASB 反应器设计实例	419
16.4	UASB 反应器的启动与运行	422
16.4.1	接种污泥的选择	422
16.4.2	UASB 反应器生产性投产过程	422
	参考文献	424
17	内循环(IC)厌氧反应器	425
17.1	IC 反应器的基本构造与工作原理	425

XII	17.2 IC反应器的运行特性	426
	17.2.1 IC反应器的处理效能	427
	17.2.2 污泥性质	427
	17.2.3 沿反应器不同高度污泥浓度的变化	428
	17.2.4 IC反应器的启动及颗粒污泥的培养	429
	17.3 IC反应器流体循环流量的计算	431
	17.4 IC反应器的技术优点及国内外应用情况	433
	17.4.1 IC反应器的技术优点	433
	17.4.2 IC反应器的国内外应用情况	434
	参考文献	434
18	膨胀颗粒污泥床(EGSB)	435
	18.1 EGSB反应器的构造特点与工作原理	435
	18.1.1 EGSB反应器的构造特点	435
	18.1.2 EGSB反应器的工作原理	436
	18.2 EGSB反应器的运行性能	436
	18.3 EGSB反应器的应用实例	439
	参考文献	442
19	折流式厌氧反应器	443
	19.1 折流式厌氧反应器的原理	443
	19.2 折流式厌氧反应器的类型	444
	19.3 折流式厌氧反应器的水力特性	446
	19.4 折流式厌氧反应器的启动和污泥颗粒化	447
	19.5 折流式厌氧反应器的工艺特性及机理	450
	19.6 折流式厌氧反应器的应用	454
	19.7 折流式厌氧反应器的发展前景	459
	参考文献	460
20	厌氧生物滤池	461
	20.1 厌氧生物滤池的构造原理	461
	20.2 厌氧生物滤池的设计计算	462
	20.2.1 厌氧生物滤池的设计参数计算	462
	20.2.2 填料的选择	465
	20.2.3 几种不同类型的厌氧生物滤池	468
	20.3 厌氧生物滤池的运行特性	472
	20.3.1 厌氧生物滤池的启动	472
	20.3.2 厌氧生物滤池的运行	472

20.3.3	温度与 pH 值的影响	473
20.3.4	反应器的填料高度对处理效率的影响	474
20.3.5	固体停留时间对厌氧生物滤池的影响	475
20.3.6	反应器的堵塞与控制	475
20.4	厌氧生物滤池的应用状况	475
	参考文献	477
21	两相厌氧消化生物处理工艺	479
21.1	两相厌氧消化工艺的工作原理	479
21.2	两相厌氧消化工艺中相的分离	481
21.2.1	相分离的方法	481
21.2.2	相分离对中间代谢产物的影响	482
21.2.3	相分离的实现对整个工艺的影响	484
21.2.4	相分离后两相反应器之间的相互关系	486
21.3	两相厌氧消化工艺的微生物学与动力学	487
21.3.1	两相厌氧消化工艺的微生物学	487
21.3.2	两相厌氧消化工艺的动力学	488
21.4	两相厌氧消化工艺的应用实例	493
21.4.1	工艺分类	493
21.4.2	工艺应用实例	495
21.5	温度两相厌氧消化工艺简介	503
21.6	对两相厌氧消化工艺的评价	503
	参考文献	504
第 5 篇 新兴的生物处理技术		
22	膜-生物反应器处理工艺	507
22.1	膜-生物反应器的分类与特点	507
22.2	膜-生物反应器的发展概述	509
22.3	膜材料与膜组件	511
22.3.1	膜材料	511
22.3.2	膜组件	512
22.3.3	膜-生物反应器中适用的膜材料与膜组件	514
22.4	固液分离膜-生物反应器	514
22.4.1	好氧膜-生物反应器处理城市废水	514
22.4.2	好氧膜-生物反应器处理工业废水	518
22.4.3	厌氧膜-生物反应器处理废水	519
22.4.4	膜污染及其影响因素	521

XIV	22.5 其他类型的膜-生物反应器	524
	22.5.1 曝气膜-生物反应器	524
	22.5.2 萃取膜-生物反应器	525
	参考文献	526
23	生物强化技术	528
	23.1 概述	528
	23.2 高效微生物的选育	529
	23.3 生物强化技术的作用机理	533
	23.4 生物强化系统中微生物存活及活性检测技术	533
	23.5 生物强化系统的动力学研究	534
	23.6 生物强化技术的应用方式	534
	23.6.1 直接投加高效降解微生物或辅助营养物	534
	23.6.2 投加固定化微生物	539
	23.7 生物强化技术的应用	541
	23.7.1 焦化废水处理	541
	23.7.2 制药废水处理	543
	23.7.3 印染废水处理	543
	23.7.4 微污染源水处理	544
	23.7.5 垃圾渗滤液处理	545
	23.8 生物强化技术的效果评价	546
	23.9 生物强化系统的优化设计	548
	参考文献	549
24	生物脱氮除磷系统	551
	24.1 生物脱氮原理	551
	24.1.1 废水中氮磷的来源与脱氮除磷的必要性	551
	24.1.2 生物硝化及反硝化过程及原理	552
	24.2 生物脱氮工艺流程	557
	24.2.1 改良的 Ludzack-Ettinger 脱氮工艺	557
	24.2.2 UCT 工艺	557
	24.3 生物脱氮工艺的设计与运行	558
	24.3.1 生物脱氮工艺的设计	558
	24.3.2 生物脱氮工艺的运行	559
	24.4 生物除磷原理	559
	24.4.1 生物除磷的功能	559
	24.4.2 生物除磷过程与机理	560
	24.5 生物除磷的工艺流程	561