



废水

生物处理新技术

——理论与应用 (第二版)

沈耀良 王宝贞 编著

NEW TECHNOLOGIES FOR BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT
THEORY AND APPLICATION

中国环境科学出版社

江苏省自然科学基金项目
江苏省教育厅高校自然科学研究重点项目 资助出版

废水生物处理新技术

——理论与应用

(第二版)

沈耀良 王宝贞 编著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

废水生物处理新技术：理论与应用 / 沈耀良，王宝贞
编著. —2 版. —北京：中国环境科学出版社，2006. 3

ISBN 7-80209-264-7

I. 废… II. ①沈… ②王… III. 废水处理—生物
处理 IV. X703. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 003540 号

责任编辑：沈 建

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址：<http://www.cesp.cn>
联系电话：010-67112765 (总编室)
发行热线：010-67125803

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 1999 年 6 月第一版 2006 年 3 月第二版
印 次 2006 年 3 月第一次印刷
印 数 1—5 000
开 本 787×960 1/16
印 张 39
字 数 750 千字
定 价 75.00 元

【版权所有。未经许可，请勿翻印、转载，违者必究】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换

第二版前言

自本书第一版出版至今已整 6 年。其间,承蒙广大读者的厚爱,分别于 2000 年和 2001 年进行了第二和第三次印刷,并受到了来自高校和工程界的好评,同时被许多院校作为环境工程专业硕士研究生和本科生的指定参考书或教材,对编著者重新修订本书第二版起到了极大的鼓舞和推动作用。

本书第二版继承了第一版的编著风格。纳入本书的废水生物处理新技术仍为 10 种(包括 AB 污水处理生物新技术、ABR 污水生物处理新技术、BAF 污水生物处理新技术、BN₀R 污水生物处理新技术、CW 污水生物处理新技术、MBBR 污水生物处理新技术、MBR 污水生物处理新技术、OD 污水生物处理新技术、SBR 污水生物处理新技术和 UASB 污水生物处理新技术),以每种处理工艺技术为单元独立成章,从处理工艺的理论(原理、特点、设计、运行控制要求)及实际应用和今后的研究发展方向等各方面作了全面系统的介绍。同时,考虑到近十多年来在水污染控制工程领域废水生物处理工艺技术的快速发展及应用实际,将纳入本书的内容作了以下方面的调整:

(1) 对编著内容做了较大幅度的增补与删除。补充了近几年来得到不断深入研究并逐步应用的“膜生物反应器(MBR)生物处理技术”及“曝气生物滤池(BAF)污水生物处理技术”两章,同时删除了在理论上已趋成熟的污泥膨胀控制技术一章。此外,在各章中分别补充了不同处理新技术的衍生新工艺。如在 BN₀R 污水生物处理新技术一章中补充了 ANAMMOX、SHARON 和 CANON 等新型废水生物脱氮技术;在 SBR 污水生物处理新技术一章中,补充 UNITANK、MSBR、DAT-IAT、IDEA 等工艺;在 UASB 污水生物处理新技术一章中补充了在其基础上研究和开发应用的 IC 和 EGSB 工艺。

(2) 对部分章节内容作了重新组合与调整。其中将第一版中独立成章分别介绍的“废水生物脱氮技术”和“废水生物除磷技术”两章合二为一,作了整体介绍;将第一版中的 LINDE 污水生物处理技术一章更名为“移动床生物反应器(MBBR)污水生物处理技术”,并补充了 Kaldnes MBBR 工艺的内容,使其更全面完整。

(3) 对各章内容在工艺原理及设计等理论层次上作了深化和提高。对纳入本书的 10 种废水生物处理新技术的介绍,从内容的深度和广度及衍生新工艺作了比

第一版更为深入、系统的分析与介绍,以利读者在理论层次上更系统和全面的了解不同工艺的原理及相应的工艺设计。

(4) 规范了文献资料的来源及书写。本书仍以 20 世纪 90 年代中期以来的文献作为主要参考资料,虽其中仍有少数几章的参考文献来源于国外专家或公司提供的研究资料,但绝大部分为正式刊物发表的论文,并将编著过程中所参阅的绝大部分文献均列于各章之后,且以规范的格式书写。所列参考文献数量较之第一版有大幅度的增加,旨在利于读者在学习过程中进一步参阅有关文献的详细内容。

本书由第一版编著者苏州科技学院(原苏州城建环保学院)沈耀良教授进行全面修订、哈尔滨工业大学(原哈尔滨建筑大学)王宝贞教授统稿。

本书的修订和出版,无疑要对以下所有人员表示衷心感谢:苏州科技学院黄勇教授、哈尔滨工业大学马放教授、苏州科技学院李勇副教授、曹晓莹工程师、张维佳教授、赵丹博士、郭海娟硕士、袁煦硕士、苏州高新区第一污水厂陈长林总工及江苏省《环境科学与工程》重点实验室全体同仁的大力支持;陈琰、王正兴、丁玲等硕士研究生为本书部分章节的文字编排付出了劳动;英国皇家理工学院的 W. P. Barber 和 D. C. Stucky 教授,他们不仅提供了许多十分珍贵的文献资料,并通过电子邮件就 BAR 工艺目前的研究和应用情况进行了交流;美国 Notre Dame 大学 R. Boopathy 博士和 Arizona 大学 J. Cooper 教授提供了部分十分有用文献资料;美国 Kentucky 大学 Y. T. Wang 教授在编著者作为高级访问学者在该校工作期间提供了十分便利的文献资料查阅及工作条件;本书所引用文献的所有作者;广大对本书第一版给予厚爱的读者。

此外,在本书的修订和出版过程中,中国环境科学出版社编辑部主任沈建副编审始终给予了极大的关心、支持和帮助;本书的出版得到江苏省自然科学基金和江苏省教育厅高校自然科学研究重点项目基金的共同资助,在此亦一并表示衷心的感谢。

本书的修订,前后历经近一年时间,编著者数易其稿,但限于编著者水平,恐仍有疏漏与不足,欢迎读者不吝指教(可通过以下电子邮件 yishenniu@mail.usts.edu.cn 或 0512-68091496 联系)。

编著者

2005 年 11 月

于苏州、哈尔滨

第一版前言

全球性水污染问题已对人类生存和社会经济发展构成越来越严重的威胁,防治水体的恶化、保护水资源,走可持续发展的道路已成为人类共同追求的目标。由于人口的快速增加、社会经济的不断发展,不仅对用水的需求量大大增加,而且污水的排放量亦与日俱增,从而使人类面临着更加紧迫的水量型和水质型水资源不足问题。废水生物处理作为水污染防治和走水资源可持续利用道路中的重要工程技术手段之一,对保护水环境和缓解水质型水资源短缺问题具有重要的作用。

活性污泥法是世界各国普遍采用的传统废水生物处理工艺,其在防治水体污染中已经并正在继续发挥其良好的作用。但由于废水排放量的急剧增加以及对废水处理要求的日益严格,传统工艺在处理的多功能性、高效稳定性和经济合理性方面已难以满足不断提高的要求。开发、研究和应用新型废水生物处理工艺和技术,已成为世界各国水污染控制工程领域研究的重要课题。

20 世纪 80 年代以来,废水生物处理新工艺新技术的研究、开发和应用,已在全世界范围内得到了长足的进展,并出现了许多新型的废水生物处理技术。这些新工艺有的在国内外实际工程中得到了良好的应用,有的已显示出其良好的应用发展前景,得到广大研究者和工程技术人员关注并正在得到不断深入的研究。它们的共同特点是高效、稳定、节能,并具有对污染物去除的多功能性。大多具有脱氮除磷等深度处理的良好效能,并正朝着自动化控制的方向发展。

为适应水污染控制技术的研究和应用不断发展的需要,编著者在总结分析大量国内外文献资料、研究报告和出国考察的基础上,结合实际工程和科研工作中所积累的经验,编写了本书。纳入本书的十种废水生物处理工艺技术均是近十多年来在水污染控制工程领域得到深入研究、在实际工程中得到推广应用并不断得到改进的新工艺新技术,包括 AB 处理生物技术、ABR 生物处理技术、SBR 生物处理技术、LINDE 生物处理技术、废水生物脱氮和除磷技术、人工湿地系统、污泥膨胀控制技术、氧化沟生物处理技术和 UASB 生物处理技术,以每种处理工艺技术为单元独立设章,从工艺的理论(原理、特点、设计、运行控制要求)及实际应用和今后的研究发展方向等各方面作了全面系统的介绍。

本书在内容组织方面作了如下考虑。本书名为“废水生物处理新技术——理论与应用”,故不仅应注重在理论上对不同处理工艺技术进行深入的介绍,而且还

应在不同技术的实际应用和发展方面多花一定笔墨,尤其强调不同工艺的发展,突出“新”字。例如,在 AB 污水生物处理技术一章的介绍中,除对该工艺的基本理论作了较为系统的介绍外,还结合实际工程经验对该工艺在实际应用中应考虑的问题、局限性作了分析介绍,并介绍了 AB 工艺的改进型——ADMONT 工艺;在 SBR 污水生物处理技术一章的介绍中,笔者将在 SBR 工艺基础上发展起来的新型间歇运行工艺 ICEAS 和 CASS 工艺作了介绍,其中对 CASS 工艺的介绍占有相当的篇幅;ABR 工艺和 LINDE 工艺则是本书在国内首次介绍的新技术,对它们的工艺原理和应用研究作了较多的介绍,有利于国内对它们进行深入的研究;在实际应用中,废水生物除磷和生物脱氮技术往往是同时考虑的问题,且不少工艺同时具有脱氮除磷的功能,故此两部分的内容在较多专著中是合二为一进行介绍的,为便于深入和有重点地分析介绍且限于各章的篇幅,本书将除磷和脱氮技术单独立章。此外,为力求反映国内外废水生物处理技术的新进展,本书以 20 世纪 90 年代,尤其是 90 年代中期以来的文献作为主要参考资料,部分是国外专家或公司提供的研究资料。

在本书的编著过程中,得到苏州城建环保学院杨铨大教授、黄勇教授的支持帮助;哈尔滨建筑大学王琳副教授、苏州城建环保学院王承武讲师、曹晓莹工程师为本书部分章节的内容整理付出了劳动;在本书的编辑出版过程中,中国环境科学出版社责任编辑沈建同志给予了极大的支持和帮助;本书的出版得到江苏省“青蓝工程”跨世纪学术带头人科研基金和苏州城建环保学院科研基金的共同资助,在此一并表示衷心的感谢。

限于编著者水平,书中疏漏和不足之处在所难免,欢迎读者不吝指正。

编著者

1999 年 5 月

目 录

第 1 章 AB 污水生物处理技术	1
1.1 概述	3
1.2 AB 工艺的基本流程和原理	4
1.2.1 工艺流程	4
1.2.2 基本原理	5
1.3 AB 工艺的性能特点	10
1.3.1 污染物去除效果	10
1.3.2 运行稳定性	13
1.3.3 脱氮除磷效果	18
1.3.4 经济性	20
1.4 AB 工艺的设计	21
1.4.1 水质水量的考虑	21
1.4.2 A 段的设计	22
1.4.3 B 段的设计	24
1.5 AB 工艺的应用	28
1.5.1 国内外研究和应用情况	28
1.5.2 AB 工艺应用中应考虑的几个问题	31
1.5.3 AB 工艺的局限性及存在的问题	35
1.5.4 AB 工艺运行方式的改进	38
1.6 结语	41
参考文献	42
第 2 章 ABR 污水生物处理技术	45
2.1 概述	47
2.2 ABR 工艺的构造及其理论基础	49
2.2.1 ABR 工艺的构造及其改进	49
2.2.2 ABR 工艺的理论基础	53
2.3 ABR 工艺的主要性能特点	64
2.3.1 良好的水力条件	65

2.3.2 稳定的生物固体截留能力.....	67
2.3.3 良好的颗粒污泥形成及微生物种群的分布.....	68
2.3.4 良好而稳定的处理效果	69
2.4 ABR 工艺的应用研究	71
2.4.1 高浓度有机废水处理的研究.....	72
2.4.2 低质量浓度有机废水的处理.....	80
2.4.3 特殊废水的处理	81
2.4.4 ABR 反应器运行特性的研究	83
2.5 ABR 反应器的设计	93
2.5.1 ABR 反应器分隔数 (N) 和平面布置.....	93
2.5.2 ABR 反应器隔室的上升流速 (u_s)	94
2.6 ABR 工艺的应用.....	95
2.6.1 处理城镇污水应用实例	96
2.6.2 处理工业废水应用实例	97
2.7 结语	97
参考文献	98
第 3 章 BAF 污水生物处理技术.....	105
3.1 概述.....	107
3.2 BAF 工艺的构造及工艺原理.....	108
3.2.1 BAF 工艺的构造与组成.....	109
3.2.2 BAF 工艺的运行方式.....	115
3.2.3 BAF 工艺的工作原理.....	117
3.3 BAF 工艺与传统工艺的比较及主要特点.....	118
3.3.1 BAF 工艺与普通生物滤池的比较.....	118
3.3.2 BAF 工艺与其他工艺的比较.....	120
3.3.3 BAF 工艺的主要特点.....	121
3.4 BAF 的工艺类型及运行特性.....	122
3.4.1 Biocarbon BAF 工艺.....	123
3.4.2 Biostyr BAF 工艺.....	126
3.4.3 Biofor BAF 工艺	130
3.4.4 Biopur BAF 工艺	132
3.4.5 Biobead BAF 工艺	136
3.5 BAF 的典型工艺流程及其选择.....	138
3.5.1 BAF 工艺的典型流程.....	138

3.5.2 BAF 工艺处理流程的选择.....	141
3.6 BAF 工艺的设计及运行控制要点.....	143
3.6.1 BAF 的构造设计.....	143
3.6.2 BAF 的工艺设计.....	144
3.6.3 BAF 工艺的运行控制.....	148
3.7 BAF 工艺的研究与应用.....	152
3.7.1 国内的研究和应用情况	152
3.7.2 国外的应用情况	154
3.8 结语.....	159
参考文献.....	161
第 4 章 BN_0R 污水生物处理技术	165
4.1 概述.....	167
4.2 废水生物脱氮除磷 (BN_0R) 的基本原理	169
4.2.1 废水生物脱氮的原理	169
4.2.2 废水生物除磷的原理	177
4.3 废水生物脱氮除磷 (BN_0R) 工艺.....	184
4.3.1 废水生物脱氮工艺 (BN_0RP)	184
4.3.2 废水生物除磷工艺 (BPRP)	191
4.3.3 同步生物脱氮除磷工艺 (BN_0R)	196
4.4 废水生物脱氮除磷 (BN_0R) 工艺的设计	205
4.4.1 废水生物脱氮除磷 (BN_0R) 工艺的选择	205
4.4.2 废水生物脱氮工艺 (BN_0RP) 的设计.....	206
4.4.3 废水 BPRP 及 BN_0R 工艺的设计	208
4.5 废水 BN_0R 工艺的运行控制.....	209
4.5.1 废水生物脱氮工艺 (BN_0RP) 的运行控制.....	209
4.5.2 废水生物除磷工艺 (BPRP) 的运行控制	216
4.6 新型废水生物脱氮工艺	220
4.6.1 厌氧氨氧化 (ANAMMOX) 工艺	220
4.6.2 短程硝化一反硝化 (SHARON) 工艺	223
4.6.3 氧控自养硝化一反硝化 (OLAND) 工艺.....	225
4.6.4 基于亚硝酸盐的全自养脱氮 (CANON) 工艺.....	226
4.6.5 ANAMMOX 工艺的应用研究.....	226
4.7 废水生物脱氮除磷 (BN_0R) 工艺的应用	229
4.7.1 国外 BN_0R 工艺的应用	230

4.7.2 国内 BN ₀ R 工艺的应用	231
4.8 结语	232
参考文献	233
第 5 章 CW 污水生物处理技术	241
5.1 概述	243
5.2 CW 的基本构造与类型	244
5.2.1 CW 的基本构造	244
5.2.2 CW 工艺的类型	245
5.3 CW 的净化原理	248
5.3.1 CW 系统中 DO 的变化	249
5.3.2 CW 系统中污染物的去除	251
5.3.3 CW 系统中微生物的特征	254
5.3.4 CW 系统中植物的作用	258
5.4 CW 系统的设计	260
5.4.1 CW 工艺的进水布置及组合方式	260
5.4.2 CW 系统的工艺设计	262
5.4.3 CW 系统的构造设计	265
5.4.4 CW 系统的填料及其构成	269
5.4.5 CW 系统的植物	270
5.4.6 CW 系统的设计程序	272
5.5 CW 系统的运行管理	273
5.5.1 CW 系统的启动与运行	273
5.5.2 CW 系统的维护管理	273
5.6 CW 系统的特点	274
5.6.1 CW 系统的优点	274
5.6.2 CW 系统的不足	277
5.7 CW 工艺的应用实例	278
5.7.1 CW 的主要应用情况	278
5.7.2 CW 在国内应用的实例介绍	279
5.8 结语	285
参考文献	287
第 6 章 MBBR 污水生物处理技术	293
6.1 概述	295

6.2 MBBR 工艺的原理及其基本特征	296
6.3 LINPOR MBBR 工艺及其应用	297
6.3.1 LINPOR MBBR 工艺的基本特征	297
6.3.2 LINPOR-C MBBR 工艺	301
6.3.3 LINPOR-C/N MBBR 工艺	304
6.3.4 LINPOR-N MBBR 工艺	308
6.4 Kaldnes MBBR 工艺及其应用	313
6.4.1 Kaldnes MBBR 工艺的基本特征	313
6.4.2 Kaldnes MBBR 工艺的主要类型	315
6.4.3 Kaldnes MBBR 工艺的研究与应用	319
6.5 结语	322
参考文献	323
第 7 章 MBR 污水生物处理技术	327
7.1 概述	329
7.2 MBR 工艺的类型及工作原理	330
7.2.1 分离膜生物反应器 (BSMBR)	331
7.2.2 无泡曝气膜生物反应器 (MABR)	336
7.2.3 萃取膜生物反应器 (EMBR)	340
7.3 MBR 工艺的运行特性	344
7.3.1 MBR 工艺的特点	344
7.3.2 MBR 工艺对污染物的去除特性	352
7.3.3 MBR 工艺中污泥的特性	359
7.4 MBR 工艺中的膜及其特性	370
7.4.1 膜的分类及膜组件	370
7.4.2 膜分离的基本原理	375
7.4.3 膜通量与浓差极化和膜污染	379
7.5 MBR 工艺的设计及运行控制	384
7.5.1 MBR 工艺的设计	384
7.5.2 MBR 工艺的影响因素及运行控制	390
7.6 MBR 工艺的应用	395
7.6.1 国外商品化 MBR 及其应用	395
7.6.2 MBR 在国内的应用	402
7.7 结语	403
参考文献	404

第 8 章 OD 污水生物处理技术	413
8.1 概述	415
8.2 OD 工艺的基本特征	417
8.2.1 OD 工艺的基本原理	417
8.2.2 OD 工艺的基本特征	418
8.3 OD 工艺的构造及类型	418
8.3.1 OD 工艺的基本构造	418
8.3.2 OD 工艺的主要类型	420
8.4 OD 工艺的主要设备	441
8.4.1 OD 工艺的曝气设备	442
8.4.2 OD 工艺的进出水装置	448
8.5 OD 工艺的主要特点	448
8.5.1 处理流程简单、操作管理方便	449
8.5.2 构造形式多样、运行方式灵活	449
8.5.3 处理功能较强、出水水质稳定	449
8.5.4 基建投资省、运转费用低	452
8.6 OD 工艺的设计	453
8.6.1 OD 工艺的一般设计	453
8.6.2 OD 工艺的水力设计	456
8.6.3 OD 工艺的特殊设计	458
8.6.4 OD 工艺的设计程序	460
8.7 OD 工艺的应用	461
8.7.1 三沟交替式 OD 工艺的应用实例	462
8.7.2 Carrousel OD 工艺的应用实例	464
8.7.3 Orbal OD 工艺的应用实例	466
8.7.4 BOAT 一体式 OD 工艺的应用实例	467
8.8 结语	468
参考文献	468
第 9 章 SBR 污水生物处理技术	473
9.1 概述	475
9.2 SBR 工艺的基本流程和原理	476
9.2.1 基本工艺流程	476
9.2.2 操作过程	478

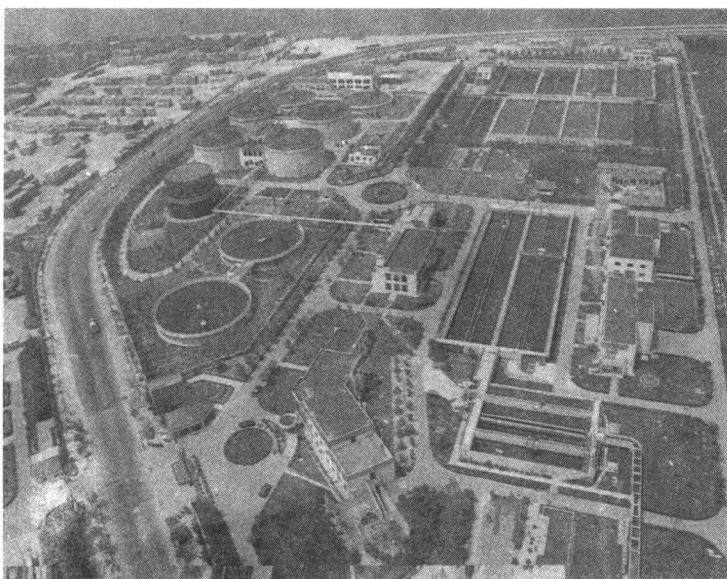
9.2.3 基本原理	484
9.3 SBR 工艺的运行模式	486
9.3.1 以有机物为主要去除对象的基本运行模式	486
9.3.2 具有脱氮功能的 SBR 工艺改进运行模式	487
9.3.3 具有除磷功能的 SBR 工艺改进运行模式	488
9.3.4 具有脱氮除磷功能的 SBR 工艺改进运行模式	489
9.4 SBR 工艺的性能特点	490
9.4.1 工艺流程简单、造价低	491
9.4.2 良好的处理效果	491
9.4.3 较高的脱氮除磷效果	493
9.4.4 良好的污泥沉降性能	494
9.4.5 良好的抗冲击负荷能力	495
9.5 SBR 工艺的设计	498
9.5.1 设计方法与过程	498
9.5.2 运行周期 (T) 的确定	500
9.5.3 反应器容积的设计	501
9.5.4 污水贮存池最小容积的设计	503
9.5.5 SBR 反应器进水流量的设计	504
9.5.6 排水系统的设计	505
9.5.7 排泥量的计算	507
9.6 SBR 工艺的运行控制	507
9.6.1 充水时间 (t_F) 的控制	508
9.6.2 曝气方式的选择	509
9.6.3 运行周期的合理确定	510
9.6.4 排水方式的选择和控制	510
9.6.5 污泥沉降性能的控制	511
9.7 SBR 工艺的发展及其应用	512
9.7.1 SBR 工艺应用实例	513
9.7.2 ICEAS 工艺及其应用	515
9.7.3 CASS 工艺及其应用	518
9.7.4 MSBR 工艺及其应用	526
9.7.5 UNITANK 工艺及其应用	532
9.7.6 IDEA 工艺及其应用	539
9.7.7 DAT-IAT 工艺及其应用	540

9.8 结语	542
参考文献	543
第 10 章 UASB 污水生物处理技术	547
10.1 概述	549
10.2 UASB 反应器的构造及工作原理	551
10.2.1 UASB 反应器的构造	551
10.2.2 UASB 反应器的工作原理	555
10.3 UASB 反应器的工艺设计	557
10.3.1 UASB 反应器的设计原则	557
10.3.2 UASB 反应器处理工艺系统的选择	558
10.3.3 反应区容积 (V_{UASB}) 的设计	559
10.3.4 三相分离器的设计	562
10.3.5 进水系统的设计	565
10.3.6 水封高度的设计	569
10.3.7 排泥系统的设计	570
10.3.8 其他设计考虑	570
10.4 UASB 反应器中的颗粒污泥	571
10.4.1 颗粒污泥的形成	572
10.4.2 颗粒污泥的类型	577
10.4.3 颗粒污泥的性质	578
10.5 UASB 反应器的运行控制	581
10.5.1 进水基质类型及营养比的控制	581
10.5.2 进水中 SS 的控制	582
10.5.3 有毒有害物的控制	583
10.5.4 碱度和 VFA 浓度的控制	584
10.5.5 沼气产量及其组分	584
10.5.6 UASB 反应器的容积、封盖及维护	585
10.6 UASB 反应器的应用	585
10.7 IC 反应器及其应用	586
10.7.1 IC 反应器的基本构造及工作原理	587
10.7.2 IC 反应器的运行特性	588
10.7.3 IC 反应器内循环流量及高度的计算	591
10.7.4 IC 反应器中有机物的降解动力学	595

10.7.5 IC 反应器的应用	597
10.8 EGSB 反应器及其应用	598
10.8.1 EGSB 反应器的基本构造及工作原理.....	598
10.8.2 EGSB 反应器的运行特性	600
10.8.3 EGSB 反应器的研究与应用	602
10.9 结语	603
参考文献	604

第 1 章

AB 污水生物处理技术



青岛市海泊河污水处理厂（AB 工艺）

Qingdao Haipohe WWTP (AB Process)