

HUOXING  
WUNIFA  
LILUN YU JISHU

# 活性污泥法 理论与技术

李亚新 编著

中国建筑工业出版社

# 活性污泥法理论与技术

李亚新 编著

中国建筑工业出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

活性污泥法理论与技术/李亚新编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2007

ISBN 978-7-112-09241-3

I. 活... II. 李... III. 活性污泥处理 IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 052754 号

本书全面和系统地论述了废水好氧生物处理活性污泥法的理论、技术和最新研究成果、工艺创新及工程经验。内容包括与废水生物处理有关的化学反应动力学、酶促反应动力学和反应器基础理论; 活性污泥生物学; 活性污泥净化有机污染物反应机理; 经典活性污泥法动力学模型和 ASM 系列活性污泥数学模型; 活性污泥法生物脱氮除磷原理与工艺; 现有各种活性污泥法工艺的原理、特点、活性污泥反应器的设计要点和设计方法; 有机废水处理的水解酸化技术; 好氧颗粒污泥技术; 活性污泥膨胀的有关理论和污泥膨胀的控制策略。本书可供环境科学、环境工程、给水排水工程和市政工程专业的研究生、本科生及相关专业的教师、研究人员和工程技术人员参考使用。

\* \* \*

责任编辑: 刘爱灵

责任设计: 赵明霞

责任校对: 安 东 王金珠

**活性污泥法理论与技术**

李亚新 编著

\*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京建筑工业出版社印刷

\*

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 37 字数: 897 千字

2007 年 8 月第一版 2007 年 8 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 62.00 元

ISBN 978-7-112-09241-3

(15905)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

## 前 言

废水活性污泥法生物处理技术自 1914 年创立以来,已有 90 余年的历史。活性污泥法生物处理技术一直是废水生物处理的主流工艺。90 余年来活性污泥法的理论和技术发展迅速,特别是在最近的一二十年中,由于控制水体富营养化的需要,活性污泥法的功能已经从传统的以去除含碳有机物为目的,演变和发展为在去除含碳有机物的同时,也要高效去除氮磷营养物质。脱氮除磷的功能要求大大推动了活性污泥法理论和工艺的发展。与以往任何时期相比,人们都没有像现在这样关注废水生物处理的理论和技术。

本书旨在向读者全面和系统地介绍活性污泥法处理废水的理论、技术和最新的理论研究成果、工艺创新及工程经验。

本书力求理论与实践并重,既着重基础理论的论述,也反映最新的理论研究成果;既着重传统的工艺技术,也反映最新的工艺创新和设计方法及成熟的工程实践经验。

全书共分 15 章:第 1 章活性污泥法概论:包括活性污泥法的基本概念、发展沿革、活性污泥的形态与组成、活性污泥的性质与指标、活性污泥法的新发展。为使读者方便阅读其他章节,本章中概要介绍了活性污泥法的各种工艺。第 2 章论述与废水生物处理有关的化学反应动力学基础理论。第 3 章论述与废水生物处理有关的酶促反应动力学理论。第 4 章论述与废水生物处理有关的反应器理论基础。第 5 章活性污泥生物学:包括活性污泥中的细菌、真菌、原生动物、后生动物和微型藻类;非生物因子对活性污泥微生物及处理效果的影响因素;活性污泥生物相。第 6 章活性污泥净化有机污染物反应机理:包括废水有机污染的指标、有机污染物的可生物降解性、活性污泥微生物增殖规律及活性污泥净化过程与机理。第 7 章经典活性污泥法动力学:全面介绍在活性污泥法处理废水领域最有影响的 4 个经典动力学模型: Eckenfelder 模型、Grau 模型、Lawrence-McCarty 模型和 Mckinney 模型。第 8 章 ASM 系列活性污泥数学模型:包括活性污泥 1 号模型、活性污泥 2 号模型、活性污泥 2d 号模型、活性污泥 3 号模型及 ASM 系列活性污泥数学模型的研究与应用。第 9 章活性污泥法生物脱氮:主要论述生物硝化反硝化过程动力学、生物硝化反硝化过程的影响因素、生物脱氮工艺与技术、生物脱氮工艺设计要点、新型生物脱氮理论与技术。第 10 章活性污泥法生物除磷:主要论述生物除磷的机理、理论和工艺(包括反硝化除磷机理与工艺)、活性污泥法生物除磷影响因素及工艺设施的设计和运行。第 11 章论述传统活性污泥法工艺特点和设计要点。第 12 章论述活性污泥法新工艺的特点和设计要点(包括 A-B 法、氧化沟、SBR 及 SBR 变形工艺等)。第 13 章论述有机废水处理的水解酸化技术。第 14 章论述好氧颗粒污泥技术。第 15 章论述活性污泥膨胀的有关理论和污泥膨胀的控制策略。本书侧重活性污泥法处理工艺而不是设备,因此,不包括充氧设备、混合系统和二次沉淀池的理论和设计。

为使读者便于阅读和掌握国外的最新理论和技术成果,书中重要的名词术语第一次出现时给出了对应英文。为使读者易于了解和应用书中的有关理论和设计方法,本书也列有若干计算例题。书中的例题仅仅是用来说明设计的方法、步骤和其中需要考虑的问题,并不是设计计算书,具体的工程设计读者可以参看有关的设计手册和文献。

在本书的编写过程中深感活性污泥法理论和工艺发展迅速，文献内容极为丰富，要全面和系统地总结活性污泥法处理废水的理论、技术、最新的理论研究成果、工艺的创新及工程经验，无疑是一项十分艰巨的工作。本书涉及新技术、新工艺和新理论较多，限于本人的学识和工程经验所限，书中难免有不妥和谬误之处，深望读者不吝赐教。

在本书的编写过程中参考了众多国内外的书刊，每章末都列出了主要的参考文献，作者谨向文献作者致以谢意。

**李亚新**

2006年6月30日

# 目 录

<b>第 1 章 活性污泥法概论</b> .....	1
1.1 活性污泥法的基本概念 .....	1
1.2 活性污泥法的发展沿革 .....	2
1.3 活性污泥的形态与组成 .....	3
1.3.1 活性污泥外观形态 .....	3
1.3.2 活性污泥组成 .....	3
1.3.3 活性污泥的性质与指标 .....	3
1.3.3.1 表示及控制曝气池中混合液活性污泥微生物量的指标 .....	3
1.3.3.2 表示活性污泥沉降与浓缩性能的指标 .....	5
1.3.3.3 活性污泥沉降速度与沉降性能试验 .....	7
1.3.3.4 评定活性污泥活性的指标 .....	8
1.4 活性污泥法工艺概述 .....	9
1.4.1 普通活性污泥法 .....	9
1.4.2 阶段曝气活性污泥法 .....	10
1.4.3 吸附再生活性污泥法 .....	11
1.4.4 完全混合活性污泥法 .....	12
1.4.5 延时曝气活性污泥法 .....	13
1.4.6 高负荷活性污泥法 .....	13
1.4.7 克劳斯 (Kraus) 活性污泥法 .....	13
1.4.8 深水曝气活性污泥法 .....	13
1.4.9 浅层曝气活性污泥法 .....	15
1.4.10 纯氧曝气活性污泥法 .....	15
1.4.11 投料活性污泥法 .....	16
1.4.12 氧化沟活性污泥法 .....	17
1.4.13 AB 活性污泥法 .....	22
1.4.14 序批式活性污泥法 .....	23
1.4.14.1 概述 .....	23
1.4.14.2 SBR 工艺的运行操作 .....	24
1.4.14.3 SBR 工艺特点 .....	24
1.4.15 序批式活性污泥法变型 .....	26
1.4.15.1 ICEAS 工艺 .....	26
1.4.15.2 CASS 工艺 .....	27
1.4.15.3 UNITANK 系统 .....	28
1.4.15.4 LUCAS 工艺 .....	29
1.4.15.5 MSBR 系统 .....	29
1.4.15.6 DAT-IAT 工艺 .....	30
1.4.15.7 IDEA 工艺 .....	31
1.4.15.8 AICS 工艺 .....	31
1.4.16 OCO 法 .....	32

1.4.17 BIOLAK 法 .....	33
参考文献 .....	34
<b>第 2 章 化学反应动力学基础 .....</b>	<b>36</b>
2.1 反应速度 .....	36
2.2 生化反应速度 .....	37
2.3 反应级数 .....	38
2.4 反应级数的确定方法 .....	39
2.4.1 零级反应、一级反应和二级反应 .....	39
2.4.1.1 零级反应 .....	39
2.4.1.2 一级反应 .....	39
2.4.1.3 二级反应 .....	40
2.4.2 曲线拟合法确定反应级数 .....	40
2.4.3 半衰期法确定反应级数 .....	41
2.5 温度对反应速度常数的影响 .....	42
参考文献 .....	44
<b>第 3 章 酶促反应动力学基础 .....</b>	<b>45</b>
3.1 酶反应动力学 .....	45
3.1.1 酶反应中间复合物学说 .....	45
3.1.2 酶促反应的动力学方程式 .....	46
3.1.2.1 米-门 (Michaelis-Menten) 方程 .....	46
3.1.2.2 Briggs-Haldane 修正公式 .....	46
3.1.2.3 米氏方程动力学参数的意义 .....	48
3.1.2.4 作图法求米氏方程中的 $K_m$ 及 $v_{max}$ .....	49
3.2 酶的抑制动力学 .....	51
3.2.1 酶的抑制作用 .....	51
3.2.2 竞争性抑制动力学 .....	52
3.2.3 非竞争性抑制动力学 .....	53
3.2.4 反竞争性抑制动力学 .....	54
3.3 影响酶反应速度的因素 .....	55
3.3.1 pH 的影响 .....	56
3.3.2 温度的影响 .....	56
参考文献 .....	57
<b>第 4 章 反应器理论基础 .....</b>	<b>58</b>
4.1 物料衡算 .....	58
4.2 完全混合间歇反应器 .....	60
4.3 完全混合连续反应器 .....	61
4.4 多级串联完全混合连续反应器 .....	62
4.5 推流反应器 .....	63
4.5.1 推流反应器容积 .....	63
4.5.2 推流反应器的纵向混合 .....	65
4.6 反应器停留时间分布 .....	67
4.6.1 停留时间分布函数及其性质 .....	67
4.6.2 脉冲响应法测定停留时间分布函数 .....	68

参考文献 .....	70
<b>第 5 章 活性污泥生物学</b> .....	<b>72</b>
5.1 活性污泥中的细菌 .....	72
5.1.1 菌胶团细菌 .....	72
5.1.1.1 菌胶团细菌的种类 .....	72
5.1.1.2 菌胶团形成机理 .....	74
5.1.1.3 菌胶团细菌的作用 .....	74
5.1.2 丝状细菌 .....	75
5.2 活性污泥中的真菌 .....	77
5.3 活性污泥中的原生动物 .....	78
5.3.1 活性污泥中原生动物的种类 .....	78
5.3.2 活性污泥中原生动物的作用 .....	80
5.4 活性污泥中的后生动物 .....	82
5.5 活性污泥中的微型藻类 .....	83
5.6 非生物因子对活性污泥微生物及处理效果的影响 .....	83
5.6.1 温度 .....	84
5.6.2 pH .....	85
5.6.3 营养物质 .....	85
5.6.3.1 碳 .....	85
5.6.3.2 氮 .....	85
5.6.3.3 磷 .....	86
5.6.3.4 硫 .....	86
5.6.3.5 矿物质 .....	86
5.6.3.6 生长因子 .....	86
5.6.3.7 水 .....	87
5.6.4 氧化还原电位 .....	87
5.6.5 溶解氧 .....	87
5.6.6 水的活度与渗透压 .....	87
5.6.7 有毒物质 .....	88
5.7 活性污泥生物相 .....	90
5.7.1 活性污泥絮凝体的形成 .....	90
5.7.2 活性污泥系统的食物链与活性污泥形成过程中生物相的变化 .....	91
5.7.3 活性污泥系统管理中的指示生物 .....	94
5.7.3.1 活性污泥生物相观察及原生动物的指标意义 .....	94
5.7.3.2 活性污泥中原生动物的形态、生理观察及数量分析 .....	94
5.7.3.3 原生动物的指示作用 .....	95
5.7.3.4 生物评价指数 .....	96
参考文献 .....	97
<b>第 6 章 活性污泥净化有机污染物反应机理</b> .....	<b>99</b>
6.1 废水水质有机污染指标 .....	99
6.1.1 概述 .....	99
6.1.2 理论需氧量 .....	99
6.1.3 化学需氧量 .....	100



6.1.4	生物化学需氧量	100
6.1.4.1	定义和测定原理	100
6.1.4.2	反应动力学	101
6.1.5	总需氧量	103
6.1.6	理论有机碳	103
6.1.7	总有机碳	103
6.2	有机污染物的可生物降解性	104
6.2.1	有机物生物降解性鉴定的途径和影响因素	104
6.2.1.1	鉴定的途径	104
6.2.1.2	生物降解性鉴定的影响因素	104
6.2.2	有机物好氧生物降解性的鉴定方法	105
6.2.2.1	测定有机物去除效果的方法	106
6.2.2.2	测定有机物降解时消耗氧量的方法	108
6.2.2.3	测定降解产物的方法	110
6.2.2.4	根据微生物生理生化特征指标的方法	112
6.2.2.5	有机物的分子结构和物理化学参数与生物降解性的关系	115
6.2.3	共代谢作用与有机污染物的好氧生物降解性	121
6.3	活性污泥微生物增殖规律	122
6.4	活性污泥增长动力学	123
6.4.1	间歇培养	123
6.4.2	无回流充分混合模式的连续培养	124
6.4.3	有回流完全混合活性污泥系统中的连续培养	124
6.5	活性污泥净化过程与机理	125
	参考文献	127
<b>第7章</b>	<b>经典活性污泥法动力学模型</b>	<b>128</b>
7.1	引言	128
7.2	基本术语与概念	128
7.2.1	污泥负荷	128
7.2.2	微生物的比增长速率	129
7.2.3	微生物的产率	129
7.2.4	底物利用速率	130
7.3	微生物的生长与 Monod 方程	131
7.3.1	微生物的生长特性	131
7.3.2	Monod 方程	133
7.4	Eckenfelder 模型	135
7.4.1	Eckenfelder 模型	135
7.4.2	Eckenfelder 模型的应用	137
7.4.2.1	无污泥回流的完全混合活性污泥系统	137
7.4.2.2	有污泥回流的完全混合活性污泥系统	138
7.4.2.3	有污泥回流的推流式活性污泥系统	139
7.4.3	图解法求解 Eckenfelder 模型中减速增长速度常数 $K_2$	139
7.4.4	Eckenfelder 模型中有机物降解与生物量增长关系	139
7.4.5	Eckenfelder 模型中有机物降解与需氧量关系	140

7.5	Grau 模型	141
7.6	Lawrence-McCarty 模型	142
7.6.1	生物固体停留时间 (泥龄)	142
7.6.2	Lawrence-McCarty 模型的基本方程式	143
7.6.3	Lawrence-McCarty 模型基本方程式的导出方程式	145
7.6.4	Lawrence-McCarty 模型中的参数	146
7.6.5	Lawrence-McCarty 模型在无污泥回流的完全混合系统中的应用	148
7.6.6	Lawrence-McCarty 模型在推流系统中的应用	148
7.6.7	Lawrence-McCarty 模型中活性污泥微生物增量的计算	150
7.6.8	Lawrence-McCarty 模型中需氧量的计算	150
7.6.9	废水生物处理中营养需求量的计算	151
7.6.10	关于生物固体停留时间 (泥龄) 的讨论	151
7.6.10.1	最小生物固体停留时间 (泥龄) 和设计生物固体停留时间 (泥龄)	151
7.6.10.2	出水中溶解性有机物浓度与生物固体停留时间的关系	152
7.6.11	生物处理出水中非溶解性有机物浓度	153
7.7	Mckinney 模型	153
7.7.1	Mckinney 模型的基本理论	154
7.7.1.1	Mckinney 模型的基本公式	154
7.7.1.2	Mckinney 模型中有氧代谢过程中的数量关系	154
7.7.1.3	Mckinney 模型中的产率	155
7.7.1.4	Mckinney 模型中的内源呼吸速率常数	155
7.7.2	Mckinney 模型的设计计算公式	156
7.7.2.1	无回流完全混合活性污泥系统	156
7.7.2.2	有回流完全混合活性污泥系统	159
7.7.2.3	推流活性污泥系统	162
7.7.2.4	活性生物体的计量	164
7.7.2.5	温度对模型中常数的影响	164
7.7.2.6	双参数设计计算方法	165
	参考文献	167
<b>第 8 章</b>	<b>ASM 系列活性污泥数学模型</b>	<b>168</b>
8.1	引言	168
8.2	活性污泥 1 号模型 (ASM1)	169
8.2.1	建模的基本假定	170
8.2.2	模型的矩阵表达形式	170
8.2.3	废水水质特性及曝气池中组分的划分	172
8.2.3.1	废水水质特性	172
8.2.3.2	活性污泥中的有机固体	176
8.2.4	模型的反应过程	177
8.2.5	模型的参数	178
8.2.5.1	化学计量系数	178
8.2.5.2	动力学参数	178
8.2.6	模型的缺欠与使用限制	181
8.3	活性污泥 2 号模型 (ASM2)	182

8.3.1	模型中组分的划分	183
8.3.1.1	可溶性物质	183
8.3.1.2	颗粒性物质	183
8.3.2	模型的矩阵表达形式	183
8.3.3	模型的反应过程	186
8.3.3.1	生物反应过程	187
8.3.3.2	化学过程	188
8.3.4	模型的参数	189
8.3.4.1	化学计量系数	189
8.3.4.2	动力学参数	190
8.3.5	模型与城市污水的水质特性	191
8.3.5.1	城市污水的有机组分	191
8.3.5.2	城市污水氮组分	191
8.3.5.3	城市污水磷组分	191
8.3.6	模型的缺欠与使用限制	192
8.4	活性污泥 2D 号模型 (ASM2D)	192
8.4.1	模型中组分的划分	192
8.4.1.1	可溶性物质	192
8.4.1.2	颗粒性物质	193
8.4.2	模型的矩阵表达形式	193
8.4.3	模型的反应过程	193
8.4.3.1	生物反应过程	193
8.4.3.2	化学过程	197
8.4.4	模型的参数	198
8.4.4.1	化学计量系数	198
8.4.4.2	动力学参数	198
8.4.5	模型的使用限制	200
8.5	活性污泥 3 号模型 (ASM3)	200
8.5.1	模型中组分的划分	201
8.5.1.1	可溶性物质	201
8.5.1.2	颗粒性物质	202
8.5.2	模型的矩阵表达形式	202
8.5.3	模型的反应过程	204
8.5.4	模型的参数	204
8.5.4.1	化学计量系数	204
8.5.4.2	动力学参数	205
8.5.5	模型的缺欠与使用限制	206
8.6	ASM 系列活性污泥数学模型的研究与应用	207
8.6.1	ASM 系列模型应用过程中的几个问题	207
8.6.2	基于 ASM 系列的软件开发	209
	参考文献	210
<b>第 9 章</b>	<b>活性污泥法生物脱氮</b>	<b>211</b>
9.1	氮磷污染与水体的富营养化	211

9.1.1	水体富营养化现象及成因 .....	211
9.1.2	富营养化水体的生态结构特征 .....	211
9.1.3	水体富营养化的危害 .....	212
9.1.4	氮对水环境质量的其他危害 .....	214
9.2	水环境与污、废水中氮的来源和循环 .....	216
9.3	污水生物处理中氮的转化和去除 .....	217
9.3.1	污水生物处理中氮的转化 .....	217
9.3.2	生物合成和排除废弃污泥对氮的去除 .....	219
9.4	生物硝化过程与动力学 .....	220
9.4.1	生物硝化过程 .....	220
9.4.2	生物硝化动力学 .....	222
9.4.3	环境因素对生物硝化过程的影响 .....	224
9.4.3.1	温度 .....	224
9.4.3.2	溶解氧 .....	224
9.4.3.3	pH .....	225
9.4.3.4	有毒物质 .....	226
9.4.3.5	C/N比 .....	230
9.5	生物反硝化过程与动力学 .....	231
9.5.1	生物反硝化过程 .....	231
9.5.2	生物反硝化动力学 .....	233
9.5.3	环境因素对生物反硝化过程的影响 .....	235
9.5.3.1	温度 .....	235
9.5.3.2	pH .....	236
9.5.3.3	溶解氧 .....	236
9.5.3.4	碳源有机物 .....	237
9.5.3.5	有毒物质 .....	237
9.5.3.6	C/N比 .....	237
9.5.3.7	微量金属元素 .....	238
9.6	活性污泥法生物脱氮技术概述 .....	238
9.6.1	生物硝化 .....	238
9.6.2	生物反硝化和生物脱氮 .....	239
9.7	活性污泥法生物硝化工艺 .....	241
9.7.1	引言 .....	241
9.7.2	生物硝化的前处理 .....	243
9.7.3	生物硝化的设计计算 .....	243
9.7.3.1	设计理论及方法 .....	244
9.7.3.2	完全混合活性污泥法硝化工艺设计计算 .....	247
9.7.3.3	普通推流式活性污泥法硝化工艺设计计算 .....	249
9.7.3.4	延时曝气活性污泥法与氧化沟工艺 .....	250
9.7.3.5	吸附再生活性污泥法 .....	251
9.7.3.6	阶段曝气、渐减曝气和污泥再曝气系统 .....	254
9.7.3.7	高纯氧活性污泥法 .....	254
9.7.3.8	粉状活性炭活性污泥法 .....	254

9.7.3.9	序批式活性污泥法	255
9.7.3.10	生物硝化设计的其他考虑要点	256
9.7.3.11	活性污泥法和生物膜法合并或组合硝化工艺	259
9.8	活性污泥法反硝化及生物脱氮工艺	261
9.8.1	引言	261
9.8.2	甲醇为碳源活性污泥反应器反硝化	261
9.8.2.1	概述	261
9.8.2.2	反硝化速率	262
9.8.2.3	完全混合活性污泥反硝化反应器的动力学设计方法	262
9.8.2.4	推流式活性污泥反硝化反应器的动力学设计方法	265
9.8.3	单一缺氧池活性污泥脱氮系统	266
9.8.3.1	历史沿革与工艺概述	266
9.8.3.2	工艺与设备设计通则	268
9.8.3.3	运行控制	270
9.8.4	双缺氧池和三缺氧池活性污泥脱氮系统	271
9.8.4.1	工艺概述	271
9.8.4.2	工艺与设备设计通则	272
9.8.4.3	脱氮效率分析	273
9.8.5	多缺氧池活性污泥脱氮系统	276
9.8.6	氧化沟脱氮工艺	277
9.8.6.1	工艺概述	277
9.8.6.2	常用的几种生物脱氮氧化沟系统工艺特点	277
9.8.6.3	工艺设计	283
9.8.7	SBR脱氮工艺	286
9.8.7.1	经典SBR工艺脱氮运行方式	286
9.8.7.2	CASS工艺和ICEAS工艺脱氮运行方式	287
9.8.8	改良型AB法脱氮工艺	289
9.9.8.1	AB-A/O工艺	289
9.9.8.2	AB-氧化沟工艺	289
9.9.8.3	AB-SBR工艺	289
9.9.8.4	ADMONT工艺	290
9.8.9	生物脱氮工艺的选择	290
9.8.9.1	单级活性污泥脱氮工艺与分级生物脱氮工艺比较	290
9.8.9.2	单污泥脱氮工艺选择	291
9.8.10	生物脱氮工艺配套设施设计要点	294
9.8.10.1	初沉池	294
9.8.10.2	二沉池	294
9.8.11	活性污泥系统脱氮工艺设计计算示例	296
9.8.11.1	工艺设计计算一般原则及程序	296
9.8.11.2	工艺设计计算示例	297
9.9	同时硝化-反硝化(SND)机理与工艺	301
9.9.1	同时硝化反硝化机理	301
9.9.1.1	宏观环境(混合形态)理论	301

9.9.1.2 微环境理论 .....	302
9.9.1.3 生物学理论 .....	303
9.9.2 同时硝化反硝化的影响因素 .....	303
9.9.2.1 碳源 .....	303
9.9.2.2 溶解氧 .....	303
9.9.2.3 生物絮体大小 .....	304
9.9.2.4 游离氨的浓度 (FA) 和 pH 值 .....	304
9.9.3 活性污泥法同时硝化反硝化工艺——单级生物脱氮工艺 .....	305
9.10 好氧反硝化机理 .....	305
9.11 短程硝化-反硝化生物脱氮机理与工艺 .....	307
9.11.1 短程硝化-反硝化生物脱氮原理 .....	307
9.11.2 实现短程硝化-反硝化生物脱氮的途径 .....	308
9.11.3 SHARON 工艺 .....	310
9.12 ANAMMOX (厌氧氨氧化) 原理与工艺 .....	313
9.12.1 ANAMMOX 工艺的发现 .....	313
9.12.2 ANAMMOX 的原理和反应机理 .....	314
9.12.3 ANAMMOX 工艺的微生物特性 .....	314
9.12.4 ANAMMOX 的影响因素 .....	315
9.12.5 ANAMMOX 工艺的研究进展 .....	315
9.12.6 SHARON-ANAMMOX 组合工艺 .....	316
9.13 好氧脱氮原理与工艺 .....	316
9.14 CANON 原理与工艺 .....	318
9.15 OLAND (氧限制自养硝化反硝化) 原理与工艺 .....	319
9.16 EM 脱氮技术 .....	320
9.16.1 EM 废水处理技术概述 .....	320
9.16.2 EM 脱氮原理 .....	321
9.16.3 国内关于 EM 脱氮的研究 .....	321
参考文献 .....	322
<b>第 10 章 活性污泥法生物除磷</b> .....	<b>326</b>
10.1 概述 .....	326
10.1.1 自然界中磷的循环与水环境和污水中磷的来源 .....	326
10.1.2 城市污水中磷的组分 .....	326
10.1.3 常规活性污泥法对磷的去除和活性污泥法生物除磷的基本概念 .....	327
10.2 生物除磷技术的发展背景 .....	327
10.2.1 活性污泥法污水处理厂除磷现象的发现 .....	327
10.2.2 生物除磷的微生物学研究 .....	327
10.2.3 生物除磷工艺的开发 .....	328
10.3 生物除磷的生物学机理 .....	328
10.3.1 生物除磷的生物学机理概述 .....	328
10.3.2 生物除磷的微生物学基础 .....	329
10.3.3 磷的厌氧释放 .....	330
10.3.3.1 厌氧区细胞内贮存物 PHB 和聚磷的变化 .....	330
10.3.3.2 厌氧区底物的变化和去向 .....	330

10.3.3.3	底物类型对磷释放的影响	331
10.3.3.4	硝酸盐对磷释放的影响	331
10.3.3.5	pH 对厌氧释放磷的影响	331
10.3.4	磷的好氧(缺氧)吸收	332
10.3.5	磷的有效释放和无效释放及其对好氧磷吸收的影响	332
10.3.6	磷的释放和吸收的生化反应模型	333
10.3.6.1	Comcau-Wentzel 模型	333
10.3.6.2	Mino 模型	334
10.4	活性污泥法生物除磷工艺	334
10.4.1	生物除磷工艺概述	334
10.4.2	Phostrip 侧流生物除磷工艺	335
10.4.3	厌氧/好氧(A/O)生物除磷工艺	335
10.4.3.1	工艺流程	335
10.4.3.2	工艺特点	336
10.4.3.3	设计参数及设计要点	336
10.4.4	厌氧/缺氧/好氧(A/A/O)生物除磷脱氮工艺	336
10.4.4.1	工艺概述	336
10.4.4.2	设计要点及设计参数	337
10.4.4.3	A <sup>2</sup> /O 工艺脱氮和除磷功能的固有矛盾和对策	338
10.4.4.4	A <sup>2</sup> /O 工艺的改良和变型	339
10.4.5	Bardenpho 脱氮除磷工艺	343
10.4.6	UCT 脱氮除磷工艺	343
10.4.7	VIP 脱氮除磷工艺	344
10.4.8	约翰内斯堡(Johannesburg)脱氮除磷工艺	344
10.4.9	分段进水的脱氮除磷工艺	345
10.4.9.1	工艺原理及特点	345
10.4.9.2	设计和运行要点	346
10.4.10	氧化沟工艺系列	347
10.4.11	序批式反应器(SBR)工艺系列	348
10.4.11.1	经典 SBR 的脱氮除磷运行模式	348
10.4.11.2	CASS 工艺的脱氮除磷功能	348
10.4.11.3	UNITANK 工艺的脱氮除磷功能	349
10.4.11.4	AICS 工艺脱氮和除磷的运行模式	349
10.4.12	反硝化除磷机理与工艺	350
10.4.12.1	反硝化除磷现象的发现和证实	350
10.4.12.2	反硝化除磷机理	351
10.4.12.3	反硝化除磷工艺	351
10.4.12.4	反硝化除磷过程的影响因素	354
10.5	活性污泥法生物除磷数学模型	356
10.5.1	ASM2D 模型及其扩展	356
10.5.1.1	生物除磷主流模型 ASM2 和 ASM2D	356
10.5.1.2	Wentzel 模型	356
10.5.1.3	营养物去除的第一个通用模型	357

10.5.1.4	PAO 和 GAO 间的竞争	357
10.5.2	ASM3 模型及其扩展	357
10.5.2.1	对内部贮存组分的分析	357
10.5.2.2	ASM3 的 EAWAG 生物除磷模块	358
10.5.3	Johnsson 模型	358
10.6	活性污泥法生物除磷影响因素	359
10.6.1	出水总悬浮固体浓度	359
10.6.2	废水中易生物降解底物浓度	359
10.6.3	废水中有机物与氮磷物质的比例	360
10.6.4	泥龄	361
10.6.5	厌氧区的硝态氮	362
10.6.6	环境及其他因素	362
10.6.6.1	污水温度	362
10.6.6.2	pH	363
10.6.6.3	厌氧区的溶解氧浓度	364
10.6.6.4	污水中的阳离子	364
10.6.6.5	厌氧停留时间	364
10.6.6.6	底物的可获得性	364
10.6.6.7	VFA 产生量与磷去除量关系	365
10.6.7	提高生物除磷能力的途径和措施	365
10.7	活性污泥法生物除磷设施的设计	367
10.7.1	污水除磷工艺方案的选择	367
10.7.1.1	工艺方案选择所需的基础资料和数据	367
10.7.1.2	可供选择的生物除磷工艺方案	369
10.7.1.3	工艺方案选择的两个要点	370
10.7.1.4	除磷方案的选择和确定方法	370
10.7.2	影响污水除磷工艺方案选择的因素	371
10.7.2.1	工艺的功能要求	371
10.7.2.2	污水水质特性	372
10.7.3	污水生物除磷工艺设计的总体考虑	372
10.7.3.1	工艺流程的组成和单元设施选择	372
10.7.3.2	系统设计需要考虑的通用参数	372
10.7.4	主流生物除磷工艺设计	373
10.7.4.1	设计通则	373
10.7.4.2	主流生物除磷工艺设计方法	376
10.7.4.3	厌氧区和缺氧区搅拌能量	378
10.7.4.4	构筑物设计	378
10.7.4.5	主流除磷工艺设计参数	378
10.8	活性污泥法生物除磷设施的运行	379
10.8.1	BOD <sub>5</sub> /TP 比值问题	379
10.8.2	活性污泥系统的泥龄	379
10.8.3	氮与回流的控制	379
10.8.4	厌氧区水力停留时间	380



10.8.5	溶解氧 (DO) 控制	380
10.8.6	污泥处理	380
10.8.7	浮渣控制	380
10.8.8	曝气池氧化还原电位的控制	381
10.8.9	有机酸发生器的监测和控制	381
10.8.10	化学药剂备用的需求	381
	参考文献	381
<b>第 11 章</b>	<b>传统活性污泥法工艺</b>	<b>384</b>
11.1	活性污泥法的主要设计、运行和操作要素	384
11.1.1	活性污泥性质的指标	384
11.1.2	活性污泥法运行和控制的指标	384
11.1.2.1	BOD—污泥负荷与 BOD—容积负荷	384
11.1.2.2	污泥龄	385
11.2	活性污泥法生物反应器容积计算方法	388
11.2.1	以曝气时间 $t$ (水力停留时间) 为主要参数	389
11.2.2	以污泥负荷为主要参数	389
11.2.3	以泥龄为主要参数	390
11.2.4	活性污泥数学模型法	391
11.2.4.1	经典活性污泥法动力学模型	391
11.2.4.2	ASM 系列活性污泥数学模型	391
11.3	普通活性污泥法	391
11.3.1	工艺特点	391
11.3.2	设计计算模式及要点	391
11.4	阶段曝气活性污泥法	393
11.4.1	工艺特点	393
11.4.2	设计计算模式及要点	394
11.5	渐减曝气活性污泥法	398
11.6	吸附再生活性污泥法	398
11.6.1	工艺特点	398
11.6.2	设计计算模式及要点	398
11.7	完全混合活性污泥法	401
11.7.1	工艺特点	401
11.7.2	设计计算模式及要点	401
11.8	延时曝气活性污泥法	401
11.8.1	工艺特点	401
11.8.2	设计计算模式及要点	401
11.9	高负荷活性污泥法	403
11.10	克劳斯 (Kraus) 活性污泥法	403
11.11	深井曝气活性污泥法	403
11.11.1	深井曝气池的构造	403
11.11.2	深井曝气法的工艺流程	404
11.11.3	深井曝气法优点	405
11.11.4	深井曝气法的设计计算	406