

序批式生物反应器 脱氮除磷理论与工艺

张兰河 王旭明 邱晓春 著



科学出版社

序批式生物反应器 脱氮除磷理论与工艺

张兰河 王旭明 丘晓春 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

水体中的氮、磷元素含量过高,比例失衡均能够引起水体的富营养化和水生生物(主要是藻类)的大量繁殖,导致水体中的溶解氧不足,从而使其中的鱼类和其他水生生物大量死亡。本书融入国内外污水处理领域脱氮除磷技术所关注的研究重点和热点,采用序批式生物反应器(SBR)处理模拟生活污水,系统地研究 SBR 工艺脱氮除磷的相关理论、关键技术和最新研究进展,探讨城市污水生物脱氮除磷技术在碳源需求、同步生物脱氮、短程生物脱氮和反硝化聚磷菌等方面的理论研究和发展趋势,揭示胞外聚合物和脱氮除磷、微生物活性之间的关系,为解决水体的富营养化问题提供理论和实践基础。

本书既可作为污水处理领域设计等人员的指导用书,也可作为相关科研人员以及高等院校市政工程、生物工程、环境科学和环境工程等专业广大师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

序批式生物反应器脱氮除磷理论与工艺/张兰河,王旭明,丘晓春著.
—北京:科学出版社,2014.5
ISBN 978-7-03-040539-5

I. ①序… II. ①张… ②王… ③丘… III. ①SBR 工艺-反硝化作用-研究 ②SBR 工艺-降磷-研究 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 089913 号

责任编辑:陈 捷 孙静慧 / 责任校对:韩 杨

责任印制:张 倩 / 封面设计:蓝正设计

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 5 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2014 年 5 月第一次印刷 印张:13 3/4

字数:275 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

氮、磷等物质排入江河易导致水体的富营养化,开发新型生物脱氮除磷工艺是一个研究热点。随着现代科学技术的进步,序批式生物反应器(SBR)在脱氮除磷理论及应用上均有很大的发展,也增添了许多新内容。本书是作者多年来在废水生物脱氮除磷理论及其应用方面所做研究工作的总结,阐述了新型生物脱氮除磷理论、技术方法和应用,为 SBR 工艺处理废水提供了理论基础,同时可以指导相关水处理设备和工艺的设计。

本书首先采用 SBR 处理模拟生活污水,考察不同温度、溶解氧、pH、水力停留时间等因素对 SBR-SND 的影响,分析不同条件下 SBR-SND 工艺中活性污泥的沉降性能和胞外聚合物的变化,建立同步硝化反硝化脱氮动力学模型,同时研究盐度对脱氮效果的影响。然后,本书在同步硝化反硝化研究的基础上,再采用 A_2 SBR 反硝化除磷工艺处理模拟废水,考察影响实现 A_2 SBR 工艺的快速启动和稳定运行的主要因素,分析进水 COD 浓度、C/P、缺氧段进水硝态氮浓度、混合液悬浮固体浓度、污泥龄以及温度等因素对反硝化除磷效率的影响。

本书章节安排如下:

第 1 章绪论,是全书的铺垫,介绍脱氮除磷的原理及其技术的发展过程,阐述传统生物脱氮除磷技术存在的问题,并提出生物脱氮除磷新理论。

第 2 章 SBR 工艺处理模拟废水 SND 选择过程研究,介绍形成 SND 的主要原因,重点阐述 DO、曝气时间、污泥浓度、pH、碳源等因素对 SBR-SND 的影响,总结 SBR-SND 系统中污泥理化性能与温度变化的关系。

第 3 章 SBR 工艺处理生活污水 SND 试验,分别介绍不同来源生活污水的 SND 试验,并进行有无碳源添加的 SND 对比试验,重点分析温度对生活污水 SND 的影响。

第 4 章 SBR-SND 动力学模型研究,提出 SBR-SND 动力学模型假设条件,建立 SBR-SND 动力学模型,考察温度对动力学常数的影响。

第 5 章盐度对 SBR 工艺脱氮效果的影响,主要介绍金属离子对短程硝化反硝化的影响,内容包括含盐废水短程硝化反硝化的实现及其影响因素,盐度金属离子(Na^+)对脱氮作用的影响等。

第 6 章 SBR 工艺处理食品废水同步脱氮除磷研究,为分析同步脱氮除磷的效果,重点介绍溶解氧、pH、水力停留时间、C/N、污泥浓度、进水有机负荷等条件改变下 SBR 脱氮除磷效能的变化情况。

第7章 EPS 对污泥絮凝沉降性及其表面性质的影响,介绍 EPS 的提取及测定方法,阐述 EPS 对污泥絮凝性、沉降性及疏水性等的影响,并分析容积负荷对 EPS 组成成分的影响。

第8章 A_2 SBR 反硝化脱氮除磷工艺的启动与稳定运行,介绍 A_2 SBR 系统启动过程的实现,考察影响 A_2 SBR 工艺的快速启动和稳定运行的主要因素。

本书第1章由丘晓春撰写,第2章、第3章、第6章至第8章由张兰河撰写,第4章和第5章由王旭明撰写,全书由张兰河和丘晓春校对和统稿。

在撰写本书过程中,贾艳萍、张海丰、张万友老师和研究生李巍巍、杨涛、刘强、伏向宇、刘洪雷、韩利、张宇、王莹等为本书付出了辛勤劳动,在此向他们表示感谢!此外,还要感谢吉林建筑大学赵可老师为本书提出的宝贵建议!

书中内容参考了有关单位或个人的研究成果,已在参考文献中列出。由于作者水平有限,书中难免存在不足,欢迎广大读者批评指正。

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 水体中氮、磷元素的危害	1
1.2 传统生物脱氮除磷原理与技术	1
1.2.1 传统生物脱氮原理	1
1.2.2 传统生物除磷原理	3
1.2.3 SBR 生物脱氮除磷技术	4
1.2.4 传统生物脱氮除磷技术亟待解决的问题	5
1.3 生物脱氮除磷新理论	6
1.3.1 同步硝化反硝化脱氮理论	6
1.3.2 短程硝化反硝化脱氮工艺	12
1.3.3 反硝化除磷理论	18
参考文献	23
第 2 章 SBR 工艺处理模拟废水 SND 选择过程研究	32
2.1 实验材料与方法	32
2.1.1 实验装置	32
2.1.2 实验用水	33
2.1.3 主要分析项目和检测方法	33
2.2 SBR-SND 生物反应器的启动	33
2.3 SBR-SND 工艺的主要影响因素	34
2.3.1 DO 浓度对 SBR-SND 的影响	34
2.3.2 曝气时间对 SBR-SND 的影响	36
2.3.3 污泥浓度对 SBR-SND 的影响	38
2.3.4 pH 对 SBR-SND 的影响	40
2.3.5 碳源对 SBR-SND 的影响	42
2.4 温度对 SBR-SND 的影响	48
2.4.1 不同温度下运行时间对 SBR-SND 的影响	48
2.4.2 不同温度下 SBR-SND 的反应速率变化	50
2.4.3 不同温度下 C/N 值对 SBR-SND 的影响	51

2.4.4 不同温度下污泥龄对 SBR-SND 的影响	52
2.4.5 不同温度下 pH 对 SBR-SND 的影响	54
2.4.6 不同温度下 SBR-SND 系统内 ORP 和 DO 变化	54
2.4.7 不同温度下 SBR-SND 系统内 SVI 变化	57
2.5 本章小结	58
参考文献	59
第 3 章 SBR 工艺处理生活污水 SND 试验	62
3.1 实验材料与方法	62
3.1.1 实验装置	62
3.1.2 生活污水水质指标	62
3.2 生活污水 SND 脱氮试验	63
3.2.1 生活污水 1 的 SND 脱氮试验	63
3.2.2 生活污水 2 的 SND 脱氮试验	64
3.3 不同温度下实际污水 SND 脱氮试验	66
3.4 无碳源添加与添加碳源 SND 对比试验	68
3.5 不同温度下外加碳源对生活污水 SND 脱氮效果的影响	70
3.6 不同温度下生活污水 SND 反应速率	72
3.7 本章小结	73
参考文献	74
第 4 章 SBR-SND 动力学模型研究	75
4.1 假设条件	75
4.2 数学模型符号说明	75
4.3 SND 动力学模型	76
4.3.1 生物硝化动力学模型	76
4.3.2 生物反硝化动力学模型	77
4.3.3 物料平衡方程	77
4.3.4 SND 动力学模型参数的确定	79
4.4 温度对动力学常数的影响	80
4.4.1 温度对总氮最大比降解速率的影响	81
4.4.2 温度对饱和常数的影响	83
4.5 本章小结	83
参考文献	83
第 5 章 盐度对 SBR 工艺脱氮效果的影响	84
5.1 实验材料与方法	84

5.1.1 SBR 实验装置	84
5.1.2 实验用水	85
5.1.3 检测方法	85
5.2 含盐废水 SBR 工艺的启动	86
5.2.1 NaCl 盐度对 SBR 工艺启动的影响	86
5.2.2 NaCl 盐度对污染物去除效果的影响	88
5.2.3 NaCl 盐度对 NO_2^- -N 累积率的影响	90
5.3 含盐废水短程硝化反硝化的实现	91
5.3.1 pH 对含盐废水短程硝化反硝化效果的影响	91
5.3.2 温度对含盐废水短程硝化反硝化效果的影响	93
5.3.3 DO 对含盐废水短程硝化反硝化效果的影响	94
5.3.4 水力停留时间对含盐废水短程硝化反硝化的影响	97
5.3.5 不同盐度下进水负荷对短程硝化反硝化的影响	98
5.4 碳源对含盐废水短程硝化反硝化效果的影响	100
5.4.1 乙酸钠作为外投碳源对短程硝化反硝化的影响	101
5.4.2 葡萄糖作为外投碳源对短程硝化反硝化的影响	102
5.4.3 乙醇作为外投碳源对短程硝化反硝化的影响	103
5.4.4 甘油作为外投碳源对短程硝化反硝化的影响	104
5.4.5 反硝化反应式的计算	105
5.4.6 反硝化终点及实际与理论需碳量的确定	106
5.4.7 反硝化 ORP 和反硝化速率的计算	107
5.5 低溶解氧下 NaCl 和 Na_2SO_4 盐度对 SBR 脱氮效果的影响	109
5.5.1 低 DO 下 NaCl 和 Na_2SO_4 盐度对脱氮效果的影响	110
5.5.2 NaCl 和 Na_2SO_4 盐度冲击负荷对脱氮效果的影响	112
5.5.3 低 DO 下 NaCl 和 Na_2SO_4 对污泥沉降性的影响	114
5.6 NaCl 、 Na_2SO_4 和 Na_3PO_4 盐度对 SBR 反应器污泥膨胀的影响	116
5.6.1 不同盐度下污泥膨胀的发生	117
5.6.2 污泥膨胀过程中盐度对 TN 和 COD 去除效果的影响	120
5.6.3 污泥膨胀过程中盐度对 EPS 和污泥沉降性的影响	122
5.7 含盐废水有机物与氨氮降解动力学	124
5.7.1 有机物降解动力学分析	124
5.7.2 氨氮降解动力学分析	127
5.8 本章小结	130
参考文献	131

第 6 章 SBR 工艺处理食品废水同步脱氮除磷研究	135
6.1 实验材料和方法	136
6.1.1 实验装置	136
6.1.2 实验用水	136
6.1.3 分析项目和方法	137
6.2 处理食品废水 SBR 反应器的启动	138
6.3 水力停留时间对氮、磷污染物去除率的影响	140
6.4 DO 对氮、磷污染物去除率及 EPS 的影响	141
6.4.1 DO 对氮、磷污染物去除率的影响	142
6.4.2 DO 对污泥沉降性能及 EPS 变化的影响	143
6.5 C/N 值对氮、磷污染物去除率的影响	144
6.6 进水有机负荷对氮、磷污染物去除率的影响	147
6.7 pH 对系统中氮、磷污染物去除效果的影响	149
6.8 MLSS 对污染物去除效果与 EPS 的影响	151
6.8.1 MLSS 对氮、磷去除效果的影响	151
6.8.2 MLSS 对 EPS 和污泥沉降性能的影响	152
6.9 系统运行周期内 ORP 和 DO 变化	153
6.10 本章小结	155
参考文献	155
第 7 章 EPS 对污泥絮凝沉降性及其表面性质的影响	157
7.1 实验材料和方法	159
7.1.1 实验装置	159
7.1.2 进水水质	159
7.1.3 检测项目与分析方法	160
7.2 EPS 对活性污泥絮凝性能与沉降性能的影响	160
7.2.1 EPS 对活性污泥絮凝性能的影响	161
7.2.2 EPS 对活性污泥沉降性能的影响	162
7.3 EPS 对活性污泥表面性质的影响	164
7.3.1 EPS 对污泥 Zeta 电位的影响	164
7.3.2 EPS 对污泥相对疏水性的影响	165
7.4 进水容积负荷对胞外聚合物的影响	166
7.4.1 EPS 荧光光谱分析	167
7.4.2 物理法提取 EPS 定量分析	169
7.4.3 EPS 中蛋白质与多糖质量浓度变化	170

7.5 氮源对胞外聚合物与脱氢酶活性的影响	171
7.5.1 pH 对 DHA 和 EPS 的影响	172
7.5.2 污泥负荷对 DHA 和 EPS 的影响	173
7.5.3 不同氮源下 EPS 与 DHA 的关系	174
7.6 本章小结	176
参考文献	177
第 8 章 A₂SBR 反硝化脱氮除磷工艺的启动与稳定运行	181
8.1 实验材料与方法	181
8.1.1 实验装置	181
8.1.2 实验用水	182
8.2 反硝化除磷系统的快速启动	182
8.2.1 A ₂ SBR 系统的启动	183
8.2.2 A ₂ SBR 系统启动过程中 COD 对厌氧释磷的影响	184
8.2.3 A ₂ SBR 系统启动过程中硝态氮浓度对缺氧吸磷的影响	185
8.2.4 A ₂ SBR 系统启动过程中闲置对反硝化除磷的影响	186
8.3 A ₂ SBR 系统稳定运行试验	187
8.4 A ₂ SBR 反硝化除磷系统的主要影响因素	188
8.4.1 COD 对反硝化除磷系统的影响	188
8.4.2 硝态氮浓度对反硝化除磷系统的影响	190
8.4.3 后置曝气对反硝化除磷系统的影响	196
8.4.4 C/P 值对反硝化除磷系统的影响	198
8.4.5 MLSS 对反硝化除磷系统的影响	200
8.4.6 污泥龄对反硝化除磷系统的影响	202
8.5 本章小结	205
参考文献	206
附录 本书中使用的缩略语	208

第 1 章 绪 论

随着社会经济的快速发展,人们对水的需求量大大增加,水资源日趋紧缺;同时,对有限水资源的不合理利用以及大量未达标废水的排放^[1-3],使现有水体受到了不同程度的污染。据监测,国内 82% 的河流受到不同程度污染。我国七大水系中,一至三类、四至五类和劣五类水质的断面比例分别为 41.8%、30.3% 和 27.9%。其中,海河水系属重度污染,辽河、淮河、黄河、松花江属中度污染,长江属于轻度污染。在所监测的 27 个重点湖库中,仅有 2 个达到了二类水质,5 个为三类,4 个为四类,6 个为五类,达到劣五类的为 10 个。

氮、磷化合物进入水体不仅导致水环境恶化,而且对人体的健康以及动植物的生存造成一定的危害。

1.1 水体中氮、磷元素的危害

氮、磷元素通过不同途径进入水体后产生多种危害。用来饮用的地表水和地下水中硝态氮($\text{NO}_3^- - \text{N}$)和亚硝态氮($\text{NO}_2^- - \text{N}$)的含量过高会给人体健康带来严重的影响和危害。首先,它能引起血色素变性。变性后的血色素能够破坏红细胞的载氧能力,引起人体严重缺氧而导致死亡。其次,它还可以增加肝癌、食管癌、胃癌等各种癌症的发病率。此外,它还可以降低人体对维生素 A 的利用率,容易引起维生素 A 缺乏症。

氮、磷富集能够加速水体“富营养化”。水体的“富营养化”是指含氮、磷等元素的无机营养物质大量进入相对封闭、水流缓慢的水体,引起水体中藻类及其他水生生物异常繁殖,水体透明度和溶解氧下降,从而破坏水体生态系统的结构和功能,导致水体恶化的现象。水体的“富营养化”促使藻类过度繁殖,消耗大量溶解氧,同时散发出恶臭,加快水质的恶化和水体的老化速度,严重影响和破坏水生生态系统。

1.2 传统生物脱氮除磷原理与技术

1.2.1 传统生物脱氮原理

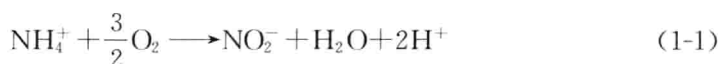
活性污泥法生物脱氮的过程包括两个不同的阶段,即硝化阶段和反硝化阶段。在微生物的作用下,污水中的氨氮通过这两个阶段最终以氮气的形式去除,参与这

两个过程的微生物的种类、转化的基质以及所需要的条件并不相同,其生化反应的特性^[4,5]见表 1.1。

表 1.1 生物脱氮的生化特性

生化反应类型	去除有机物	硝化阶段		反硝化阶段
		亚硝化	硝化	
微生物	好氧菌和兼性菌(异养菌)	<i>Nitrosomonas</i> (自养菌)	<i>Nitrobacter</i> (自养菌)	兼性菌 (异养菌)
细胞形状	各种形状	椭球或棒状	椭球或棒状	各种形状
世代周期	20min 至数小时	8~36h	12~59h	20min 至数小时
能源	有机物	化学能	化学能	有机物
氧源	氧气	氧气	氧气	NO_3^- , NO_2^-
碱度	无变化	7.14mg/mg	无变化	3.57mg/mg
最适 pH	6~8	7~8.5	6~7.5	6~8

硝化过程是将污水中的氨氮转变为硝态氮的过程,包括两个基本的反应:氨氧化菌首先将氨氮转化为亚硝态氮(NO_2^- -N);亚硝化细菌再将亚硝态氮转化为硝态氮(NO_3^- -N)。氨氧化细菌和亚硝化细菌大多数为专性化能自养菌,硝化细菌生长速率低,硝化过程需要在好氧条件下进行,同时利用氧作为电子受体。其反应方程式表示为



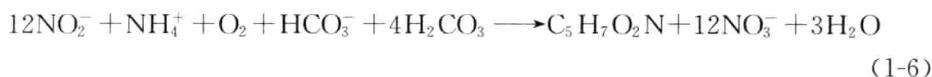
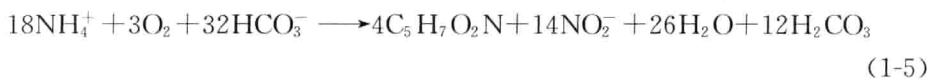
反硝化是通过反硝化细菌使硝化过程中生成的 NO_3^- -N 或 NO_2^- -N 还原成为氮气的过程,反硝化在缺氧条件下由化能异养兼性缺氧型微生物完成。



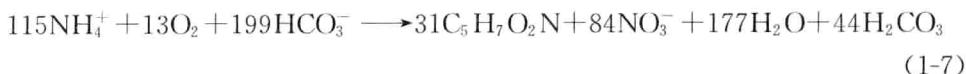
因此, NO_3^- 还原为氮气经历以下连续四个步骤的反应:



化学计量方程表明了生物系统中利用亚硝化单胞菌将水体中的氨转化为亚硝态氮的过程,同时也表明了利用硝化细菌将亚硝态氮转化为硝态氮的过程^[6]。



通过式(1-3)~式(1-6)可得



从生物脱氮过程来说,其过程本身就是一个矛盾的统一体。一方面,在硝化反应的过程中,污泥中的硝化细菌需要较长的 SRT 时间与好氧条件;另一方面,反硝化则要求 SRT 较短的反硝化细菌与缺氧条件。此外,硝化过程和反硝化过程对污水中有机物的要求也存在矛盾:当污水中存在大量的有机物时,硝化细菌对氧气以及营养物质的竞争低于好氧异养菌,这导致在反应器内好氧异养菌易成为污泥中的优势菌种;而在反硝化过程中,则需要有机碳源的存在,使其作为反应过程中的电子供体完成工艺中的脱氮过程。硝化细菌和反硝化细菌在生理机制上的差异造成了生物脱氮反应器在结构上的不同组合^[7]。例如,将硝化与反硝化由同一污泥来完成的单污泥工艺以及由不同污泥来完成的双污泥工艺。单污泥工艺通过交替的好氧和缺氧段来实现。双污泥工艺则通过使用分离的硝化池和反硝化池来完成。若硝化池在前,则在反硝化时则需要从外部投加碳源进行脱氮;而硝化池在后时,则需要硝化液大规模地回流,但这些不利于传统生物脱氮工艺高效和稳定地运行。

1.2.2 传统生物除磷原理

传统生物除磷原理认为在厌氧和好氧交替的条件下,能够驯化出一类微生物,即聚磷菌(PAO),它能够超量从水体中摄取磷酸盐,并以聚合磷酸盐的形式将其储存在细胞内,这样就形成了具有高磷含量的污泥,把这些污泥以剩余污泥的形式排出,可达到从污水中除磷的目的^[8-11]。活性污泥法生物除磷过程包括两个过程,即厌氧段聚磷菌释磷和好氧段聚磷菌吸磷,其原理如图 1.1 所示。

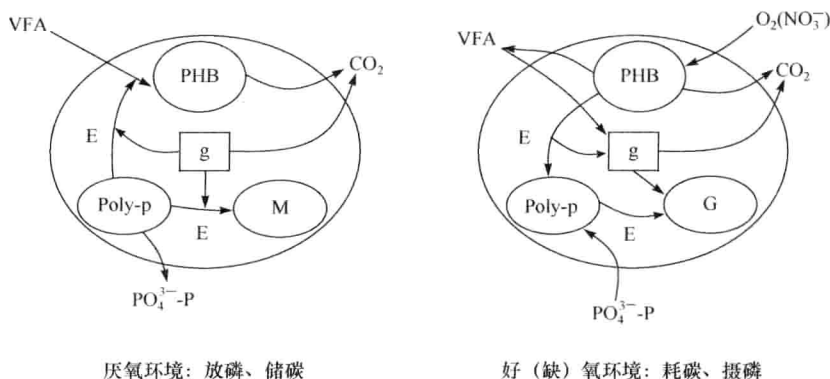


图 1.1 生物除磷原理

E. 能量;g, 糖源;M, 维持细胞生存;G, 细胞繁殖增长

厌氧环境:PAO 将其细胞体内的多聚磷酸盐水解成无机磷酸盐排放到体外,在这个过程中产生能量,同时利用产生的这些能量充分从水体吸收低级脂肪酸

(VFA),把 VFA 转变成聚 β 羟基丁酸盐(PHB)储存在细胞内。还有一部分能量来自于聚合物碳源,它的主要作用是提供还原性辅酶来调节胞内氧化还原的平衡。



好氧环境:PAO 利用储存在细胞内部的 PHB 来提供细胞生长所需要的能量和碳源。PHB 最后被氧化成二氧化碳,而还原性辅酶被转化为 ATP。聚磷菌生长的能量来自于 ATP,并且在生长的同时还不断在细胞体内以多聚磷酸盐的形式储存磷以及合成糖源质,在这个过程中聚磷菌吸收的磷酸盐量远远超过了在厌氧段 PAO 所释放的磷量,即磷的超量吸收。因此,出水中磷酸盐浓度大大降低,即实现了从污水中除磷的目的。这个过程中产生富含磷的活性污泥,其中一部分作为接种污泥被循环回流到厌氧反应器,另一部分则以剩余污泥的形式被排出,从而使磷从该系统中去除,取得高效稳定的除磷效果。糖源的生成与恢复对能否实现稳定的除磷效果也十分重要,这主要是由于厌氧段将乙酸盐转化为 PHB 所需要的还原性辅酶主要来源于糖源质物质。好氧的过程可以表示为



1.2.3 SBR 生物脱氮除磷技术

污水脱氮除磷技术是在生物脱氮除磷的原理上发展起来的。脱氮除磷工艺必须同时满足聚磷菌、硝化细菌和反硝化细菌的生长条件,并通过污泥回流实现氮、磷等元素的同时去除。

SBR(sequencing batch reactor)是序批式生物反应器的简称。1914 年,Arden 和 Lockett 首先采用这种系统进行城市核工业废水处理,但未能得到广泛推广,其主要原因是该工艺对自动化控制要求高。当前,SBR 不仅在发达国家迅速推广应用,而且在我国也受到了极大的重视。1985 年,上海市政设计院为吴淞肉联厂设计、建造了我国第一座 SBR 废水处理厂,设计流量为 $2400\text{m}^3/\text{d}$,它比美国 Culver 市城市废水处理厂的建成投产仅晚 5 年。之后,各地的 SBR 废水处理厂相继建成并投入运行。此外,SBR 还广泛应用于各种工业废水的处理^[12-14]。

SBR 工艺是按一定时间顺序,间歇操作运行并在单个反应器中完成全部操作和运行过程的处理工艺。一个完整周期主要有五个阶段:进水期、反应期、沉淀期、排水排泥期以及闲置期。SBR 工艺的流程如图 1.2 所示。

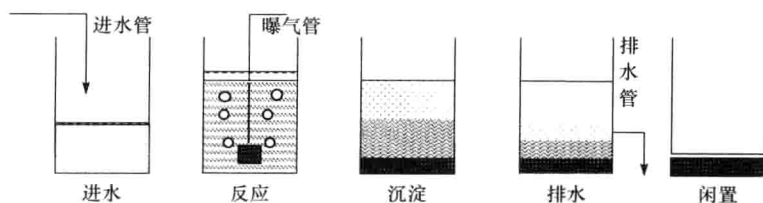


图 1.2 SBR 工艺

进水期:进水初期,反应器污染物浓度较低,随着污染物的不断加入,浓度不断增加。如果处理的污水中含有有毒物质,就会造成反应器中污泥中毒,往往会采用曝气的形式,来抑制该作用。

反应期:在进水结束后,进行曝气,实现对有机污染物等的生物降解和转换过程。在反应期阶段,活性污泥微生物周期性地处于高浓度和低浓度环境中,反应器也相应形成厌氧、缺氧、好氧交替运行,能够有效地处理有机物,同时进行脱氮除磷。

沉淀期:沉淀过程的功能是澄清出水,浓缩污泥。对于 SBR 工艺而言,其没有污泥回流系统,更能保证澄清出水,避免了活性污泥法中泥水混合液必须经过管渠进入沉淀池的过程,使得污泥絮凝性得到良好的发挥。通常来说,沉淀时间与污水类型有关,一般为 1~2h。

排水排泥期:沉淀期结束后,先将反应器中的上清液排出至周期出水时的最低水位(高于沉淀后污泥层)形成一定的保护高度。一般而言,SBR 排水通常由排水装置完成,因此必须注意防止出现沉底污泥上浮问题。排水排泥期一般为 1~2h。

闲置期:闲置期的作用是,在静置无进水的情况下,使微生物通过内源呼吸作用恢复其良好的吸附能力,并在缺氧池实现部分反硝化,从而进行脱氮或释磷,为下一个周期创造良好的条件。这个阶段是保证 SBR 出水水质的重要组成部分,所需时间与所处理污水种类、处理负荷以及所要达到的处理效果有关。

SBR 工艺的特点为:工艺简单,调节池容积小,或可不设调节池,不设二次沉淀池,造价低;脱氮除磷效果较好;反应器存在较大的浓度梯度,污泥沉降性能好;厌氧和好氧交替发生,污泥龄短且活性高,抗负荷冲击能力强,出水水质好。

1.2.4 传统生物脱氮除磷技术亟待解决的问题

传统的生物脱氮方法包括硝化、反硝化两个过程。硝化细菌在有氧气参与的情况下才能发生硝化过程,反硝化细菌在厌氧或缺氧的情况下才具有较高的活性进行反硝化过程^[15]。二者对有利于自身生长和繁殖的环境条件的要求存在差异,硝化、反硝化过程一般不能同时发生,只能序批式地进行。近几十年来,经过不断地改型和发展,生物脱氮技术取得了较大进步,但仍然普遍存在以下弊端^[16,17]:

(1) 条件控制复杂,硝化和反硝化分成两个阶段,很难在时间和空间上统一,投资费用高。

(2) 硝化细菌生长周期长,增殖速率较慢,尤其是在低温条件下很难维持较高的生物浓度。

(3) 硝化过程中,为了提高硝化细菌的活性,必须进行曝气来提供良好的好氧条件。但是曝气可以去除大量的有机物,在后续反硝化中需要补充碳源来提高反

硝化效率。

(4) 整个系统易受冲击,工艺进水中如果氨氮和亚硝态氮的浓度过高,就会抑制硝化细菌的生长和繁殖,进而影响脱氮效果。

(5) 反应过程中需要加碱中和硝化过程中产生的酸度,这增加了处理费用。

因此,如何降低传统脱氮工艺中曝气所消耗的大量能源和降低将硝态氮还原成气态氮所需要的碳源,是降低动力消耗及运行费用的关键。

传统生物除磷,利用聚磷菌(PAO)一类的微生物,能够超过其生理需要从外部环境摄取磷,并将磷以聚合的形态储藏在菌体内,形成高磷污泥,排出系统外,达到从污水中除磷的效果。PAO只有在厌氧和好氧条件下交替循环时,其大量储存磷酸盐的能力才能够得到实现^[18,19]。一般地说,传统的生物除磷可以有效地去除污水中的有机物,但除磷效率较低。这是因为虽然细菌为了合成菌体需要磷,但所需数量有限。该工艺虽然经过几十年发展取得了很大进步,但单纯利用传统生物除磷工艺依然很难满足出水要求。因为传统生物除磷工艺除了具有诸多优点外,缺点也很明显:

(1) 生物除磷对工艺条件变化(如 pH、温度和污泥龄等)较化学除磷工艺更为敏感。

(2) 生物除磷必须保持非常低的出水悬浮物浓度。

(3) 生物除磷工艺的污泥难于处理。一旦污泥处于厌氧状态,磷随即发生释放,因此要避免重力浓缩,尽量采取气浮浓缩后迅速脱水或直接脱水,且初沉污泥与剩余污泥最好是分开进行浓缩脱水直到泥处理末端再混在一起,浓缩脱水的清液在回到水处理段前均需化学沉淀法除磷。

因此,发展和推广简便有效的污水脱氮除磷技术受到日益广泛的关注。

1.3 生物脱氮除磷新理论

1.3.1 同步硝化反硝化脱氮理论

1. 同步硝化反硝化基本原理

传统脱氮理论认为,废水中氨氮必须经硝化和反硝化过程,才能够达到脱氮目的,这是因为硝化和反硝化过程中微生物生长的环境有很大差异,硝化反应需要有氧气存在的环境,而反硝化则需在厌氧或缺氧环境中进行。近年来,国内外学者通过大量的试验对工程实践中遇到的现象和问题进行了研究,以传统的生物法脱氮理论作基础,发现硝化反应和反硝化反应可以在同一操作条件下同一反应器内进行^[20-22],即同步硝化反硝化(简称 SND)。

SND 是指在同一空间内相同的运行条件下,硝化和反硝化反应同时发生的现象。它使传统工艺中分离的硝化和反硝化两个过程合并在同一个反应器中,略去

了亚硝态氮氧化成硝态氮及硝态氮再还原成亚硝态氮这两个多余的反应,从而可节省约 25% 的氧气和 40% 以上的有机碳^[23-25],在反应过程中不需要添加碱度和外加碳源。在与传统工艺处理效果相同的情况下减少了 20% 的反应池体积,需要更低的溶解氧浓度(1.0mg/L 左右),无混合液的回流以及反硝化搅拌设施。因此,SND 简化了生物脱氮工艺流程,减少了运行成本。它突破了传统的生物脱氮理论,简化了脱氮反应发生的条件,丰富了传统生物脱氮理论,强化了生物脱氮过程,使传统的生物脱氮理论发生了质的飞跃^[26-28]。

SND 现象可以从微环境理论、宏观环境理论和微生物学理论三个方面加以解释。

1) 微环境理论

微环境理论是目前解释 SND 现象普遍接受的观点。这种理论认为,微生物个体在一般情况下非常微小,所以环境的微小变化也会不同程度地影响微生物的生存,污泥絮体内部 DO 浓度的分布如图 1.3 所示。

整个主体相中 DO 分布均匀,但是当 DO 向污泥絮体内部进行扩散时受到一定的限制,所以在絮体内部就会产生扩散层、好氧区、缺氧区这样一个梯度。微生物絮体的外层区域即扩散层和好氧区 DO 浓度较高,以好氧菌、硝化细菌为主,该区域有利于硝化反应的进行。随着 DO 扩散深入到微生物絮体内部,由于氧的传递受阻和扩散层、好氧区中 DO 逐渐减少,在絮体内造成缺氧环境,此时有利于反硝化细菌的生长,促进了反硝化的进行。微生物絮体内存在缺氧区域是实现 SND 的主要原因,然而缺氧环境的形成主要取决于 DO 浓度的大小和絮体的结构^[29]。DO 浓度过高会扩散至污泥絮体内部,无法形成缺氧区域,就不能实现 SND;浓度过低满足不了扩散层、好氧区硝化反应所需的 DO,进而降低脱氮效果。因此,控制 DO 浓度以及微生物絮体的结构是成功实现 SND 的关键。

2) 宏观环境理论

一般来说,反应中所需的 DO 都是通过曝气来供给,不同的曝气装置会导致反应器内 DO 的分布状态不同。但是在好氧条件下的活性污泥脱氮系统中,无论哪种曝气装置都无法保证反应器中的 DO 在废水中分布均匀,例如,在 SBR 反应器中,曝气并不能保证整个反应器中 DO 完全处于均匀的混合状态,缺氧区域的存在为该反应器中成功实现 SND 提供了可能。

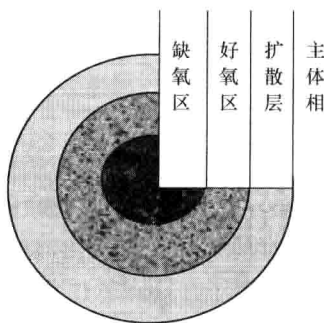


图 1.3 微生物絮体内反应区和基质浓度的分布示意图(双氧区模型)