

| 水处理科学与技术·典藏版 09 |

活性污泥膨胀 机理、成因及控制

彭永臻 郭建华 编著



科学出版社

水处理科学与技术·典藏版 09

活性污泥膨胀机理、成因及控制

彭永臻 郭建华 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是关于活性污泥膨胀的成因、机理、预防与控制研究方向的专著,由国内从事该领域研究近 20 年的专家撰写而成。全书共分 10 章,系统总结和归纳了国内外目前在污泥膨胀领域取得的研究成果和最新进展,在重点阐述丝状菌生理生态特性的基础上,详述污泥膨胀的成因和机理,客观评价和比较不同污泥膨胀的预防与控制方法,并提出针对不同污泥膨胀类型的不同控制方案。此外,还介绍专家系统和数学模型在污泥膨胀预防与控制中的应用。最后,为了给污泥膨胀研究领域的研究人员提供借鉴,本书还介绍了当前的研究热点,探讨了一些尚待解决的问题。

本书可供从事环境科学与工程、环境微生物学,特别是研究污水生物处理、污水处理厂优化运行与控制等方面的科研人员、高等院校师生阅读,也可作为污水处理厂运行管理人员、决策人员和工程设计人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

水处理科学与技术:典藏版/曲久辉,任南琪,彭永臻,等编著.—北京:科学出版社,2017.1

ISBN 978-7-03-051235-2

I. ①水… II. ①曲… ②任… ③彭… III. ①水处理 IV. ①TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 305492 号

责任编辑:朱丽 杨新改 / 责任校对:张怡君
责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

北京京华虎彩印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

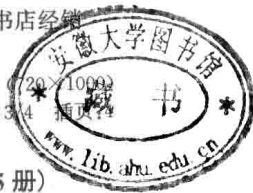
2017 年 1 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2017 年 1 月第一次印刷 印张: 23 3/4 插页 4

字数: 462 000

定价: 3980.00 元(全 25 册)

(如有印装质量问题,我社负责调换)



前 言

目前,我国面临着水资源短缺、水生态破坏、水环境污染等问题,特别是含氮磷营养物的污水排放导致的水体富营养化,给人们的生活和生产造成了诸多不利影响和危害。为提高城市污水的处理率和改善城市水环境质量,我国投入了大量的资金解决水污染严重的问题。“十一五”期间,我国兴建了大批城市污水处理厂,全国污水处理率从 2005 年的 52% 已上升至 2010 年的 75% 以上。虽然城市污水处理厂的设施建设取得了突出的成绩,但城市污水处理行业,还存在一些亟待解决的问题,例如城市污水处理厂的高效稳定运行。

在我国大约有 90% 以上的城市污水处理厂和 50% 以上的工业废水处理站采用活性污泥法。对于采用活性污泥法的城市污水处理厂来说,其高效稳定运行首先离不开正常的泥水分离效果,而污泥膨胀是活性污泥法自问世以来在运行管理中,一直困扰人们的难题之一,不仅发生率高,而且普遍存在。据不完全统计,目前国内约三分之一的污水处理厂每年会遭遇污泥膨胀问题。污泥膨胀的出现会对污水处理厂的运行造成很大危害,被认为是活性污泥法的“癌症”,严重时会出现因污泥大量流失而导致整个污水处理厂运行崩溃的情况。因此,预防和控制污泥膨胀成了国内外研究的热点和难点问题。

迄今为止,国外对污泥膨胀的机理、控制与预防进行了大量深入的研究,研究主要集中在丝状菌的分离与鉴定上,目前已经鉴别出了存在于不同条件下的各种优势丝状菌,并对各种丝状菌形态和生理特性进行了大量研究,认识到了丝状菌在活性污泥絮体的组成、结构和形态上发挥了重要作用,提出了丝状菌增殖的理论解释,进行了大量关于污泥膨胀的控制与预防和数学模型的研究。由于活性污泥膨胀长期困扰污水处理厂的稳定运行,国内对此也投入了大量的研究,研究方向和国外的大致相同,多集中在污泥膨胀的机理以及如何控制与预防污泥膨胀等方面。本课题组在过去和现在进行的试验研究中,经常遇到丝状菌污泥膨胀问题,对此本课题组对污泥膨胀的成因、机理和控制条件进行了系统的研究,经多年积累对各种类型的污泥膨胀的成因、基本机理与控制方法等有较坚实的理论基础。及时总结现有的研究成果,更全面地挖掘污泥膨胀发生的原因,有利于预防和控制污泥膨胀。

本书除了总结和分析国内外对活性污泥膨胀问题在不同时期的研究结果之外,还在重点阐述丝状菌生理生态特性的基础上,详述污泥膨胀的成因和机理,客观评价不同污泥膨胀的预防与控制方法,并提出针对不同污泥膨胀类型的不同控

制方案。此外,还介绍专家系统在污泥膨胀预防与控制中的应用,并对解释污泥膨胀的数学模型进行汇总和归纳。最后,为了给从事相关方面研究的人员提供借鉴,本书还介绍当前的研究热点,探讨一些尚待解决的问题。

本书共 10 章,第 1 章简述活性污泥法中污泥膨胀的一些基础知识;第 2、3 章从微生物学的角度阐述活性污泥微生物的基本组成,以及常见的引发丝状菌污泥膨胀的丝状菌的形态特点、生理生态和分类鉴定的方法;第 4 章总结国内外现有的污泥膨胀的理论和学说;第 5、6 章系统分析可能引发污泥膨胀的因素,并探讨针对不同因素引发污泥膨胀的预防与控制措施;第 7 章介绍预防与控制污泥膨胀专家系统的开发过程和专家系统在污泥膨胀预防与控制中的作用和应用前景;第 8 章总结对比目前国内外公认的几个解释污泥膨胀的数学模型;第 9 章归纳世界各国预防和控制污泥膨胀的实践经验,包括不同国家污泥膨胀的成因、控制预防措施及所取得的效果;第 10 章总结截至发稿前国内外最新的污泥膨胀研究进展及研究热点,包括一些新技术在污泥膨胀控制中的应用。

彭永臻教授编写了本书的第 1、4、5、6 和 10 章,郭建华博士编写了第 2、3、6、7、8 和 9 章,四川大学的陈滢博士参与了第 1、4、5 和 6 章部分内容的编写,北京工业大学的杨雄、郑雅楠、黄慧珺和王中玮参与了本书的部分编辑校对与图表绘制工作,在此深表谢意。多年来,课题组的 10 余名博士和硕士研究生先后直接参与相关的试验研究工作,为本书的内容提供了大量素材,在此一并表示感谢。

本书得到了 2012 年度国家科学技术学术著作出版基金资助,本书内容涉及的研究工作得到了国家科技支撑计划、国家 863 计划、国家自然科学基金和北京市自然科学基金的支持,在此表示感谢。

本书的部分内容参考了国内外学者或者工程师的研究成果或者实际运行经验,在此向有关作者表示衷心感谢。由于作者水平有限,在诸多问题的研究和认识上尚欠深刻,书中难免有缺点和不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者

2011 年 9 月

目 录

前言

第 1 章 污泥膨胀的基本概念	1
1.1 活性污泥法	1
1.1.1 活性污泥法的起源	1
1.1.2 活性污泥法的应用	2
1.2 活性污泥的性质	3
1.2.1 活性污泥的组成和结构	3
1.2.2 活性污泥絮体的形成机理	6
1.2.3 活性污泥的特性	10
1.2.4 活性污泥的分类	13
1.3 污泥沉降性能指标	15
1.3.1 污泥沉降比	15
1.3.2 污泥容积指数	15
1.3.3 污泥成层沉降速度	18
1.3.4 丝状菌指数	19
1.3.5 丝状菌丰度	22
1.3.6 丝状菌长度	24
1.3.7 丝状菌数量	24
1.4 污泥膨胀及其危害	27
1.4.1 污泥膨胀的定义	27
1.4.2 污泥膨胀的范围	28
1.4.3 污泥膨胀的危害	31
1.5 污泥膨胀的分类	31
1.5.1 丝状菌污泥膨胀	32
1.5.2 非丝状菌污泥膨胀	33
1.6 泡沫问题	34
1.7 其他泥水分离问题	36
1.7.1 分散生长	36
1.7.2 针状污泥絮体	36
1.7.3 散落状絮凝物悬浮	36

主要参考文献	38
第 2 章 活性污泥法微生物学基础	40
2.1 菌胶团菌	41
2.2 生物脱氮系统中的常见细菌	42
2.2.1 硝化细菌	42
2.2.2 反硝化细菌	46
2.2.3 氨氧化菌和亚硝酸盐氧化菌的竞争	51
2.3 强化生物除磷系统(EBPR)中的常见细菌	56
2.3.1 聚磷菌	56
2.3.2 聚糖菌	60
2.3.3 聚磷菌和聚糖菌的竞争	62
2.3.4 反硝化聚磷菌和反硝化聚糖菌	66
2.4 常见的微型生物	67
2.4.1 原生动物	68
2.4.2 后生动物	76
2.4.3 活性污泥中微型生物的作用	78
主要参考文献	81
第 3 章 丝状菌形态学与生态生理学	85
3.1 丝状菌的形态特性	85
3.1.1 分支	85
3.1.2 运动性	85
3.1.3 丝状菌形态	86
3.1.4 位置	87
3.1.5 附着生长	87
3.1.6 衣鞘	87
3.1.7 隔膜	90
3.1.8 丝状菌宽度	90
3.1.9 丝状菌长度	90
3.1.10 细胞形状	91
3.1.11 细胞大小	91
3.1.12 积硫情况	92
3.1.13 储存颗粒	93
3.1.14 染色反应	93
3.1.15 其他观察	95
3.2 丝状菌分类与鉴别	95

3.2.1	基于形态学的丝状菌分类	95
3.2.2	Jenkins 分类法	113
3.2.3	Eikelboom 分类法	116
3.2.4	Wanner 分类法	120
3.2.5	基于微生物学的丝状菌分类	120
3.2.6	传统的鉴定方法	122
3.2.7	基于现代分子生物学手段的鉴定方法	124
3.3	丝状菌的生理生态学特性	129
3.3.1	变形菌门丝状菌的生态生理学	129
3.3.2	拟杆菌门丝状菌的生态生理学	135
3.3.3	绿弯菌门丝状菌的生态生理学	137
3.3.4	TM7 菌门丝状菌的生态生理学	139
3.3.5	厚壁菌门丝状菌的生态生理学	140
3.3.6	放线菌门丝状菌的生态生理学	141
3.3.7	浮霉菌门丝状菌的生态生理学	145
3.3.8	未被鉴定的丝状菌	145
3.4	不同生长环境与运行条件下的优势丝状菌	145
3.4.1	多功能基于溶解性底物的丝状菌	148
3.4.2	专门基于复杂型底物生长的丝状菌	148
3.4.3	多代谢功能的泡沫型丝状菌	149
3.4.4	发酵型底物丝状菌	149
3.4.5	不同类型污水处理厂中的优势丝状菌	149
	主要参考文献	150
第4章	污泥膨胀理论与学说	160
4.1	扩散选择理论	160
4.2	动力学选择理论	161
4.3	储存选择理论	162
4.4	饥饿假说理论	163
4.5	一氧化氮理论	165
4.6	动力-扩散双选择理论	166
4.7	扩展的选择理论	168
	主要参考文献	169
第5章	污泥膨胀的成因和主要影响因素	172
5.1	水质条件	172
5.1.1	有机物	172

5.1.2	氮和磷营养物质	173
5.1.3	硫化物	174
5.1.4	有毒物质	175
5.1.5	腐化和酸化废水	176
5.1.6	脂类	176
5.2	环境条件	176
5.2.1	温度	176
5.2.2	pH	177
5.2.3	溶解氧	178
5.3	运行条件与工况	179
5.3.1	污泥负荷	179
5.3.2	反应器类型及流态	180
5.3.3	进水方式	181
5.3.4	曝气方法	181
5.3.5	污泥龄的控制	181
	主要参考文献	182
第6章	污泥膨胀的预防与控制	184
6.1	生物选择器	184
6.1.1	生物选择器的分类	184
6.1.2	生物选择器的设计	186
6.1.3	生物选择器的应用	189
6.2	低负荷污泥膨胀的控制	190
6.2.1	推流式反应器	191
6.2.2	序批式反应器	191
6.2.3	改良 A/O 工艺中低负荷引起的丝状菌污泥膨胀及控制	193
6.2.4	SBR 工艺中低负荷对活性污泥沉降性能的影响	195
6.3	低溶解氧污泥膨胀的控制	196
6.3.1	控制污泥膨胀的最低 DO 值与 F/M 的关系	196
6.3.2	改良 A/O 工艺中低溶解氧引起的丝状菌污泥膨胀及控制	197
6.3.3	SBR 工艺中低溶解氧引起的污泥膨胀及控制	198
6.4	营养物缺乏型污泥膨胀的控制	199
6.4.1	营养物质的生理功能及来源	199
6.4.2	缺乏营养物质引起的丝状菌污泥膨胀的状况	199
6.4.3	缺乏营养物质引起的丝状菌污泥膨胀机理	200
6.4.4	缺乏营养物质引起的丝状菌污泥膨胀的试验研究状况	202

6.4.5 缺乏营养物质型污泥膨胀的控制技术及注意事项	206
6.5 高负荷污泥膨胀的控制	208
6.5.1 回流污泥再生法	208
6.5.2 投加填料法	208
6.6 投加氧化剂法	209
6.6.1 投加 Cl_2	209
6.6.2 投加 H_2O_2	209
6.6.3 投加 O_3	210
6.7 增重剂和絮凝剂	215
6.8 非丝状菌污泥膨胀的控制方法	215
6.8.1 非丝状菌污泥膨胀的成因	215
6.8.2 控制方法	217
6.9 其他泥水分离问题的控制方法	228
6.9.1 生物泡沫的控制方法	228
6.9.2 污泥上浮的控制方法	231
主要参考文献	231
第7章 预防与控制污泥膨胀的专家系统	235
7.1 专家系统简介	235
7.1.1 专家系统的结构	235
7.1.2 专家系统的优点	236
7.1.3 基于规则的专家系统结构	237
7.2 专家系统开发方法和工具	241
7.2.1 专家系统的开发方法	241
7.2.2 专家系统的开发工具	243
7.3 污泥膨胀成因的诊断与应急控制系统	246
7.3.1 污泥膨胀诱因的检索图	246
7.3.2 污泥膨胀的控制措施	251
7.3.3 应用举例	253
7.4 预防与控制污泥膨胀专家系统的开发和应用	256
主要参考文献	259
第8章 污泥膨胀的数学模型	260
8.1 引言	260
8.2 Chudoba 动力选择模型	260
8.3 Chiesa 和 Irvine 模型	261
8.4 AEROFIL 模型	262

8.4.1	模型假设	262
8.4.2	模型中的过程描述	263
8.5	动力学选择-骨架耦合数学模型	267
8.5.1	引言	267
8.5.2	模型的假设	267
8.5.3	数学模型	268
8.5.4	参数选取	270
8.5.5	结果与讨论	271
	主要参考文献	284
第9章	国外控制污泥膨胀的经验和实践	285
9.1	澳大利亚	285
9.1.1	澳大利亚污水处理厂泥水分离问题概况	285
9.1.2	污泥膨胀和生物泡沫的控制方法	286
9.1.3	澳大利亚解决污泥膨胀的案例	287
9.2	捷克	289
9.2.1	20世纪八九十年代污水处理厂中泥水分离问题的调研	289
9.2.2	2000年对8座脱氮除磷污水处理厂的调查	293
9.2.3	生物泡沫控制措施	294
9.3	丹麦、希腊及荷兰	295
9.3.1	污水组成及工艺流程	296
9.3.2	污泥膨胀和生物泡沫的情况	297
9.3.3	污水组成、工艺流程及运行参数对丝状菌生长的影响	300
9.3.4	控制措施及经验	301
9.4	意大利	303
9.4.1	优势丝状菌调查	303
9.4.2	控制措施	306
9.4.3	污水处理厂解决泥水分离问题的案例分析	307
9.5	日本	310
9.5.1	日本泥水分离问题概况	310
9.5.2	诱发泥水分离问题的主要丝状菌	310
9.5.3	采取的控制措施	312
9.5.4	案例研究	313
9.6	美国	314
9.6.1	活性污泥系统中丝状菌的控制	314
9.6.2	生物泡沫	317
9.6.3	黏性膨胀和分散生长	319

主要参考文献	321
第 10 章 污泥膨胀的研究热点和进展	327
10.1 低 DO 污泥微膨胀节能方法的发现、提出及理论基础	327
10.1.1 低溶解氧污泥微膨胀节能方法的发现	327
10.1.2 低溶解氧污泥微膨胀节能方法的提出	328
10.1.3 低溶解氧污泥微膨胀节能方法的理论基础	330
10.2 图像分析在控制污泥膨胀中的应用	333
10.2.1 图像分析技术简介	333
10.2.2 图像分析技术在污泥膨胀中的应用	335
10.3 FISH 在丝状菌检测上的应用与研究进展	338
10.3.1 定性分析应用	338
10.3.2 定量分析应用	339
10.3.3 运用 FISH 技术在丝状菌鉴定中的意义	340
10.3.4 荧光原位杂交技术应用于丝状菌鉴定上的缺陷	342
10.3.5 发展前景	345
10.4 好氧颗粒污泥与污泥膨胀	346
10.4.1 好氧颗粒污泥中丝状菌的存在形式	347
10.4.2 好氧颗粒污泥 SBR 反应器中丝状菌的外延生长	347
10.4.3 好氧颗粒污泥 SBR 反应器中丝状菌过度生长的诱发因素	350
10.4.4 好氧颗粒污泥 SBR 反应器中丝状菌的增殖方式	353
10.5 膜生物反应器与污泥膨胀	355
10.5.1 污泥膨胀对 MBR 膜污染的影响	355
10.5.2 污泥膨胀对 MBR 污染物去除的影响	356
10.5.3 污泥膨胀对 MBR 微生物群落的影响	357
10.5.4 膜生物反应器中污泥膨胀的控制	357
10.6 尚未解决的问题	358
10.6.1 污泥结构	358
10.6.2 微生物鉴定	359
10.6.3 颗粒性底物的作用	359
10.6.4 底物储存的作用	359
10.6.5 生物选择器	360
10.6.6 预防和控制	360
10.6.7 数学模型	361
主要参考文献	361

第 1 章 污泥膨胀的基本概念

1.1 活性污泥法

1.1.1 活性污泥法的起源

一百多年前,法国科学家发明了 Moris 池,这是最早的污水生物处理反应器,其中微生物在厌氧条件下生存,因此这也是最早的污水厌氧反应池。第一个生物滤池则是 1893 年在英国首先采用的,而现代应用最为广泛的活性污泥法(activated sludge process)则是在 1912~1913 年开始试验研究。1914 年,Arden 和 Lockett 在英国曼彻斯特市开创了世界上第一座活性污泥法污水处理试验厂。1916 年,美国正式建立了第一座活性污泥法污水处理厂。

活性污泥工艺最早的运行方式为充-排式,由于受当时技术条件限制,自动控制技术与设备还比较落后,这种运行方式操作繁琐,空气扩散装置易于堵塞,人们意识不到其独特的优越性。连续进水的推流式活性污泥工艺出现后,很快将其取代。可是随之而来的是经常出现的污泥沉降性能变差的问题。Donaldson^[1]首先提出推流式曝气池中活性污泥的返混现象(返混现象改变了曝气池内的水力特性,使活性污泥处于完全混合状态)是促使发生污泥膨胀的一个重要原因。他提出通过将推流曝气池分隔成不同的隔室,可改善污泥的沉降性能。在完全混合活性污泥工艺中,仍保持着连续进水的方式。后来,Pasveer^[2]研究了充-排式技术,开发了充-排式氧化沟。这种工艺在欧洲流行起来,一时之间,几乎所有的污水处理系统都转换为这种带有二沉池和污泥回流设备的连续流的氧化沟。Pasveer 的研究表明,间歇进水氧化沟的污泥沉降性能要好于连续进水的完全混合系统。在 20 世纪 60 年代末和 70 年代之间,Irvine^[3]和他的合作者重新将周期运行的活性污泥工艺命名为序批式反应器,即 SBR(sequencing batch reactor),该工艺又重新开始在世界范围内应用起来。很多研究者的调查表明,与完全混合活性污泥工艺和推流式活性污泥工艺相比,SBR 工艺内活性污泥的沉降性能最好,可以较好地控制污泥膨胀。近几年,随着计算机和自动控制技术的飞速发展,活性污泥法开发初期间歇操作复杂的问题得到解决,该技术得到更加广泛的应用,并且在其基础上又开发了一系列变形工艺,如 ICEAS 工艺、CASS 工艺、DAT-IAT 工艺、UNITANK 工艺和 MSBR 工艺等。

随着生物技术的发展,活性污泥法也在不断地发展进步。在实际生产上的广

泛应用和技术上的不断革新改进,特别是近几十年来,在对其生物反应和净化机理深入研究的基础上,活性污泥法在生物学、反应动力学的理论以及在工艺方面都得到了长足的发展,出现了多种能够适应各种条件的工艺流程。目前,活性污泥法已经成为处理生活污水、城市污水和部分工业废水的主体工艺技术。

1.1.2 活性污泥法的应用

自 1914 年活性污泥法开创以来,随着活性污泥法的深入研究、工艺流程的不断改进和创新,它有更广的水质、水量适用范围和良好的操作稳定性。该法将厌氧引进到好氧工艺之中,在不增加或少增加费用的情况下,在去除有机物的同时完成脱氮除磷的任务,提高处理程度。活性污泥法还与其他工艺(如生物膜法,膜分离装置)组合使用,增加生化反应器中的生物量,提高生化反应效率且表现出良好的灵活性。经过 90 多年的发展与实践证明,活性污泥法是一种应用广泛并极具发展潜力的污水处理技术。

活性污泥法的发展过程大致可以分为以下三个阶段。

第一阶段(1881~1915 年),活性污泥法的早期阶段。随着 Moris 池和生物滤池的发明和应用,最终在 1914 年发明了活性污泥法。

第二阶段(1915~1960 年),活性污泥法的普及阶段。此阶段活性污泥处理技术被大量应用,活性污泥法成了城市废水处理的主要工艺,并在实践应用中不断发展,出现了很多活性污泥法改良工艺,如阶段曝气法、生物接触稳定法、完全混合曝气法、延时曝气法、纯氧曝气法等新工艺。厌氧活性污泥法也从传统的低效率消化池逐步发展到高效率消化池、二级消化池和两相消化池等新工艺。活性污泥法经过这一阶段的发展,应用领域也从最初的生活污水处理扩展到工业废水处理。

第三阶段(1961 年~至今),活性污泥法发展的新时期。在此阶段,随着对活性污泥的反应理论、净化功能、运行方式、工艺系统和微生物生理、生态学等方面的深入研究,以及单元操作理论、控制理论等的应用,活性污泥法在理论上更完善,在工程实际中积累了丰富的经验,并且又不断开发出多种新工艺,在处理效率、出水水质改善、减少投资、降低运行费用、提高运行稳定性等方面都得到大幅度提高。在此基础上,活性污泥法随着环境污染和能源危机的出现发生了巨大的飞跃,出现了很多新型污水处理工艺,如氧化沟、A-B 法、SBR 及其变形工艺、高浓度活性污泥法、深井曝气、流化床、升流式厌氧污泥床(UASB)反应器、厌氧内循环(IC)反应器、ABR 等,另外还产生了一系列厌氧、好氧相结合的活性污泥处理工艺,如 A/O、A²/O 等。

目前,活性污泥法已成为城市生活污水和有机工业废水的有效处理方法和污水生物处理的主流方法。我国已建成的污水处理厂和在建的城市污水处理厂大多采用活性污泥法。由此可以看出,作为一种典型的污水二级处理技术,活性污泥法

有着广阔的应用前景。

1.2 活性污泥的性质

1.2.1 活性污泥的组成和结构

活性污泥外观是矾花状絮凝颗粒(绒粒),通称生物絮体。在混合液静置时,它们会立即絮凝成较大绒粒而下沉。活性污泥是活性污泥法处理系统中的主体。它不是一般的污泥,而是栖息着种类繁多、具有强大生命活力的微生物群体的生物絮凝体。在微生物群体新陈代谢功能的作用下,它具有将有机物污染物转化为稳定的无机物的能力,故此称之为“活性污泥”。

活性污泥是以细菌、微型动物为主的微生物与悬浮物质、胶体物质混杂在一起所形成的絮状体颗粒。良好的活性污泥具有很强的吸附分解有机物的能力和良好的沉降性能。絮体的大小取决于微生物的组成、数量以及污染物特征和某些外部环境因素。活性污泥颜色因污水水质不同而不同,一般为黄色或褐色,微具土壤味,密度为 $1.002\sim 1.006\text{g}/\text{cm}^3$,含水率99%左右。活性污泥通常都具有较大的比表面积,每毫升活性污泥的表面积大体上为 $20\sim 100\text{cm}^2$ 。活性污泥中生存着各种微生物,构成了复杂的微生物相。在多数情况下,活性污泥中的主要微生物是细菌,伴之以营腐生的原生动物构成基本营养层次,然后是以细菌为食的掠食性原生动物占优势。

活性污泥中的固体物质含量因污泥类型的不同而变化,对于好氧污泥,固体物质含量一般都在1%以下,是由有机固体物质与无机固体物质两部分所组成,其组成比例则因原污水水质不同而异,如城市污水的活性污泥,其中有机成分占75%~85%。活性污泥中固体物质的有机成分,主要是由栖息在活性污泥上的微生物群体所组成。此外,在活性污泥上还夹杂着由入流污水挟入的有机固体物质,其中包括某些惰性的难为细菌摄取、利用的“难降解有机物质”。这些难降解有机物质包括微生物菌体经过自身氧化的残留物,如细胞膜、细胞壁等。活性污泥的无机组成部分,全部是由污水挟入的,至于微生物体内存在的无机盐类,由于数量极少,可忽略不计。

这样,活性污泥是由下列四部分物质所组成:①具有代谢功能活性的微生物群体(M_a);②由污水挟入的并被微生物所吸附的有机物质(含难为细菌降解的惰性有机物)(M_i);③微生物自身氧化的残留物(M_e);④由污水挟入的无机物质(M_{ii})。

活性污泥中的微生物群体(M_a)主要由细菌所组成,其数量可占污泥中微生物总量的90%~95%,在某些工业废水的活性污泥中,甚至可达100%。此外,在活性污泥上还存活多种真菌、原生动物和后生动物等。活性污泥中的有机物、细

菌、原生动物与后生动物组成了一个小型的相对稳定的生态系统和食物链。

好氧活性污泥中,直接摄取污水中可溶性有机物的主要是异养型的原核细菌。在成熟的正常活性污泥中,每毫升活性污泥含细菌数量大致为 $10^7 \sim 10^8$ 个。现已基本判明,可能在活性污泥上能够形成优势菌属的细菌主要有:产碱杆菌属(*Alcaligenes*)、芽孢杆菌属(*Bacillus*)、黄杆菌属(*Flavobacterium*)、动胶杆菌属(*Zoogloea*)、丛毛单胞菌属(*Comamonas*)、假单胞菌属(*Pseudomonas*)和大肠埃希氏杆菌(*Escherichia Coli*)等。此外,在活性污泥中还可能出现但一般不占优势的细菌有:无色杆菌属(*Achromobacter*)、微球菌属(*Microbaccus*)、诺卡氏菌属(*Nocardia*)和八叠球菌属(*Sarcina*)等。至于哪些种属的细菌在活性污泥中占优势,则又取决于原污水中有机污染物的性质。如含大量糖类和烃类的污水将使假单胞菌得到迅速增殖,而含蛋白质多的污水则有利于产碱杆菌的生长繁殖。

上述种属的细菌在适宜的环境条件下,都具有较高的增殖速率,世代时间仅为 20~30min。具有较强的分解有机物并将其转化为稳定的无机物质的能力。另外,活性污泥中还存在一些世代时间较长的细菌,如氢氧化菌和亚硝酸盐氧化菌,它们的世代时间从 8 小时到数天不等,能够将废水中的氨氮依次氧化成亚硝酸盐和硝酸盐。

在活性污泥中,动胶杆菌属(*Zoogloea*)、假单胞菌属(*Pseudomonas*)、黄杆菌属(*Flavobacterium*)等在新陈代谢过程中能够形成絮凝体状团粒(即“菌胶团”),这类细菌被称为菌胶团细菌。细菌形成菌胶团后可防止被微型动物吞噬,并在一定程度上可免受毒物的影响。菌胶团细菌是构成活性污泥絮凝体的主要成分,有很强的吸附、氧化分解有机物的能力。菌胶团成熟以后有很好的沉降性能,能够促使混合液在二次沉淀池中迅速完成泥水分离过程。

在活性污泥中还会出现真菌,真菌的出现一般与水质有关,一些霉菌常出现于 pH 较低的污水中。真菌的细胞结构较为复杂,而且种类繁多,与活性污泥处理系统有关真菌是微小的腐生或寄生的丝状菌,它们具有较强的分解碳水化合物、脂肪、蛋白质及其他含氮化合物的功能。通常,丝状菌在活性污泥中可交叉交织在菌胶团之间,是形成活性污泥絮凝体的骨架,使污泥具有良好的沉降性能。一定数量的丝状菌可使污泥保持高的净化效率、低的处理出水浓度和出水悬浮物浓度。但若大量异常的丝状菌增殖则会引发污泥膨胀。

在活性污泥中存活的原生动物常见的有肉足虫、鞭毛虫和纤毛虫等。通常后生动物在活性污泥中是不经常出现的。活性污泥系统中的后生动物有轮虫、线虫和瓢体虫。轮虫在有机物含量低、出水水质良好的完全氧化性活性污泥系统中才会出现,故轮虫的存在是处理效果较好的标志。通过显微镜的镜检,能够观察到出现在活性污泥中的原生动物,并辨别认定其种属,据此能够判断处理水水质的优劣。

图 1-1 所示是活性污泥法处理系统中活性污泥微生物随污水有机物浓度改变的演替规律。在活性污泥法处理系统中,净化污水的第一承担者,也是主要承担者是细菌,而摄食处理水中游离细菌,使污水进一步净化的原生动物则是污水净化的第二承担者,同时也是活性污泥生态系统的首次捕食者。后生动物摄食原生动物,是生态系统的第二捕食者。原生动物与细菌的关系主要为:①掠食关系,原生动物在食物链中处于捕食细菌的地位。一方面,原生动物通过对细菌的捕食,能促进细菌的生长,使细菌的生长能维持在对数生长期,防止种群的衰老,起着淘汰作用,提高细菌的活力,而且原生动物活动产生的溶解性有机物质(DOM)可被细菌再利用,促进了细菌的生长;另一方面,原生动物中存在的某些类型(如纤毛类)具有吞食游离细菌的巨大能力,而游离的细菌个体小、密度小,较难沉淀,易被出水带出而影响水质。原生动物以细菌为食饵,所以分散的细菌几乎都能除掉。有人证明,奇观独缩虫在自然水体中 1h 能吃掉 3 万个细菌。Curds 等^[4]在曝气池中接种纤毛类原生动物,出水大为改善。②絮凝作用,细菌生长到一定程度后就凝集成絮状物。这种絮状物为原生动物提供了着生的环境,反过来絮状物上的原生动物能加速絮凝过程。Curds 等证明纤毛虫能分泌两种物质,一种称为 P 物质,是一种多糖类碳水化合物;另一种是属于单糖结构的葡萄糖及阿拉伯糖,表面电荷为负的悬浮颗粒会吸收这种 P 物质,通过悬浮颗粒表面电荷的改变,就使悬浮颗粒集结起来,形成絮状物。另外,纤毛虫还能分泌一种黏液,能把絮状物再联结起来。原生动物分泌的黏液对悬浮颗粒和细菌均有吸附能力。这就促进了菌胶团的形成和污水处理能力的提高。

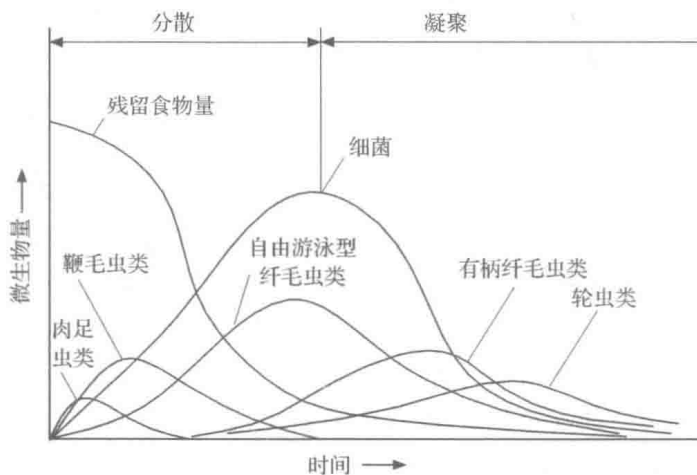


图 1-1 活性污泥微生物随有机物浓度改变的演替

原生动物和后生动物合称为微型动物。微型动物对污水处理的作用除了前面所述,还有微型动物(特别是固着性的和匍匐性的微型动物)能迅速地沉降,在沉降