

Self-Forming Dynamic Biofilm Technology

自生动态生物膜技术

傅大放 熊江磊◎著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

江苏省优势学科项目(PAPD)资助出版

自生动态生物膜技术

傅大放 熊江磊 著

东南大学出版社
• 南京 •

内 容 提 要

本书结合多年的科研成果,系统阐述了自生动态生物膜水处理技术的原理和应用,并介绍了一些成功运行的工程实例。全书分为9章,自生动态生物膜水处理技术的基本原理,自生动态生物膜的影响因素、形成过程、脱氮性能和去除溶解性有机物的性能,分析了自生动态膜生物反应器的生物多样性,介绍了两种自生动态膜生物反应器及其应用案例;平板动态膜组件及生物反应器和微管式动态膜组件及生物反应器。

本书供从事水处理工程及水处理设备研发、设计的技术人员阅读,也可供大专院校环境工程专业、给排水专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

自生动态生物膜技术/傅大放,熊江磊著. —南京:
东南大学出版社,2015.2

ISBN 978-7-5641-4709-9

I. ①自… II. ①傅… ②熊…
III. ①生物膜(污水处理)—技术 IV. ①X703.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 314501 号



自生动态生物膜技术

编 著 傅大放 熊江磊
责任编辑 丁 丁
编辑邮箱 d. d. 00@163. com
出版发行 东南大学出版社
出 版 人 江建中
社 址 南京市四牌楼 2 号(邮编:210096)
网 址 <http://www.seupress.com>
经 销 全国各地新华书店
发行热线 025-83790519 83791830
印 刷 南京雄州印刷有限公司
开 本 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张 15
字 数 380 千
版 次 2015 年 2 月第 1 版 2015 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-4709-9
定 价 58.00 元

(本社图书若有印装质量问题,请直接与营销部联系,电话:025-83791830)

前 言

自生动态生物膜是在多孔基材上附着生长的生物膜,因此它首先具有微生物活性,同时因为这层生物膜具有一定的致密性,也就有了过滤性能。如何将这两个功能结合起来,在一个反应器中同时实现有机物的微生物降解和颗粒物的滤除,这是自生动态生物膜技术发展的出发点和追求的目标。

2003年3月,我们开始了自生动态生物膜技术的研究,10年来,先后有博士研究生段文松、熊江磊,硕士研究生林新斌、徐五英、林玉娇、马强、李澄、朱亚文、徐晓光、张雷、贺浩耘、洪凯、朱航,本科生杜二虎、韩林辰等15位同学参与了研究工作。

凭着对自生动态生物膜的一种好奇,我们在没有任何经费资助的情况下,坚持了8年时间,终于从2011年起,先后得到教育部博士点基金(20110092120016)和江苏省产学研联合创新资金(BY2013073-09)的资助,实现了实验室试验、现场中试和实际工程应用的全过程研究。

研究工作始于多孔基材的选择、动态膜组件的构造和反应器的基本工艺参数的确定,后来逐步聚焦到动态膜的阻力特征和膜结构本身。把这些基本问题弄清楚之后,我们在施工营地、高速公路服务区等每天生活污水量只有数百吨的场所,直接进行现场放大试验,解决了膜组件安装、装置启动、现场反冲洗和反应器产品定型等工程应用问题。我们还针对中小型污水处理厂的改造升级,重点研究了提高自生动态生物膜反应器总氮去除效果的方法,开展了微管式自生动态生物膜的研发,为实现该技术的产业化、工业化和工程化创造了条件。

这一研究工作的一个显著特点就是与企业的密切结合。2008年起,我们就和企业一起致力于自生动态生物膜技术的实际应用。我们的共同认识是,这一技术具有转化为工业化产品的优势,有助于实现水处理从以土建工程构筑物为主要特征向以定型装置为主要特征的转变,而这一转变会是水处理技术的一场革命。

虽然我们的研究工作已经十年有余,但必须承认,我们对自生动态生物膜技术还没有完全把握。理论上,动态生物膜由凝胶层和滤饼层构造而成的假定是

否科学？动态生物膜上的微生物群落与反应器中的微生物有什么本质区别？微生物累积和脱落的规律到底是怎样的？反应器结构本身以及反应器内部的其他组件对动态生物膜的形成有怎样的影响？自生动态生物膜反应器内部膜与泥是否可以完全转换？是否有可能实现动态生物膜形成过程的计算机模拟？……还有一系列疑问等待我们去探索。实践上，延长膜组件的寿命、提高反洗的效率、提升反应器自动化程度和工作可靠性、协调与其他水处理单元的关系、降低反应器的成本、进一步明确产品系列及目标市场……还有许多问题需要我们去解决。

这本书是十年研究历程的一个小结，是所有参与这项工作的同学们的集体智慧，但一定不是、也不应该是我们对自生动态生物膜技术研发工作的终结标志。我们会直面需要继续探索和解决的问题，在实践中潜心思考，在思考中大胆实践，直到领悟这一技术的真谛！

傅大放

2014 年 12 月于南京成贤街

目 录

第一章 绪论	(1)
1.1 污水生物处理技术概述	(1)
1.1.1 污水好氧生物处理技术原理	(1)
1.1.2 污水厌氧生物处理技术原理	(8)
1.2 膜生物反应器技术概述	(13)
1.2.1 膜生物反应器基本原理	(14)
1.2.2 膜生物反应器研究进展	(15)
1.2.3 膜生物反应器技术特点	(16)
1.3 自生动态生物膜技术概述	(17)
1.3.1 自生动态生物膜技术基本原理	(17)
1.3.2 自生动态生物膜技术研究进展	(20)
1.3.3 自生动态生物膜技术特点	(21)
1.3.4 自生动态生物膜系统污水处理效果	(25)
第二章 自生动态生物膜系统的影响因素	(33)
2.1 水力停留时间对系统处理效果的影响	(33)
2.1.1 水力停留时间对 COD 去除效果的影响	(33)
2.1.2 水力停留时间对 $\text{NH}_3\text{—N}$ 去除效果的影响	(34)
2.1.3 水力停留时间对 TN 去除效果的影响	(34)
2.1.4 水力停留时间对 TP 去除效果的影响	(35)
2.2 气水比对系统处理效果的影响	(35)
2.2.1 气水比对 COD 去除效果的影响	(35)
2.2.2 气水比对 $\text{NH}_3\text{—N}$ 去除效果的影响	(35)
2.2.3 气水比对 TN 去除效果的影响	(36)
2.2.4 气水比对 TP 去除效果的影响	(36)
2.3 膜基材对系统处理效果的影响	(37)
2.3.1 单层基材的性能及对系统的影响	(37)
2.3.2 多孔基材的性能及对系统的影响	(49)
2.4 系统的临界通量	(67)
2.4.1 临界通量的测定	(67)

2.4.2 临界通量对系统的影响	(83)
第三章 自生态生物膜的结构与成分	(87)
3.1 自生态生物膜的形成过程	(87)
3.2 自生态生物膜的结构	(91)
3.2.1 膜结构发展变化过程	(91)
3.2.2 膜的形貌与污泥粒径	(93)
3.3 自生态生物膜的成分	(96)
3.3.1 污泥层面密度	(96)
3.3.2 污泥层组成分析	(97)
3.3.3 膜面组分分析	(99)
第四章 自生态生物膜系统的脱氮性能	(106)
4.1 生物脱氮原理与方法	(106)
4.2 自生态生物膜系统脱氮效果	(107)
4.2.1 $\text{NH}_3\text{—N}$ 去除效果	(107)
4.2.2 TN 去除效果	(108)
4.3 聚氨酯填料强化自生态生物膜系统脱氮工艺	(108)
4.3.1 聚氨酯填料的参数确定	(109)
4.3.2 聚氨酯填料的脱氮性能	(112)
4.4 添加剂强化自生态生物膜系统脱氮工艺	(116)
4.4.1 添加剂的选择和投加量的确定	(116)
4.4.2 系统脱氮效果	(117)
4.4.3 SND 脱氮过程特性	(121)
4.4.4 系统混合液特性	(125)
第五章 自生态生物膜系统去除溶解性有机物的性能	(136)
5.1 溶解性有机物的特性	(136)
5.1.1 DOM 的可生物降解性	(137)
5.1.2 DOM 的组分特性	(138)
5.1.3 DOM 的亲疏水性及酸碱性	(141)
5.1.4 DOM 相对分子质量分布	(142)
5.2 溶解性有机物的去除效果	(144)
5.3 强化去除溶解性有机物的作用机理	(147)
5.3.1 活性炭强化作用机理	(147)
5.3.2 生物铁强化作用机理	(149)

第六章 自生动态生物膜系统的微生物多样性分析	(154)
6.1 常规污水处理工艺微生物多样性分析	(154)
6.2 微生物种群测定及分析方法	(156)
6.3 微生物群落结构分析	(160)
6.3.1 PCR 扩增和 DGGE 图谱分析	(160)
6.3.2 微生物相似性和 Shannon 指数分析	(162)
6.4 投加凹凸棒土对微生物群落的影响	(163)
第七章 平板动态生物膜组件及反应器	(168)
7.1 平板动态生物膜反应器的运行原理	(168)
7.2 平板动态生物膜组件的规格及特征	(170)
7.3 平板动态生物膜反应器的设计	(172)
7.4 平板动态生物膜组件的安装	(178)
7.5 平板动态生物膜反应器的调试	(179)
7.6 平板动态生物膜反应器的运行管理	(180)
第八章 微管式动态生物膜组件及反应器	(188)
8.1 微管式动态生物膜反应器的运行原理	(189)
8.2 微管式动态生物膜组件的规格及特征	(190)
8.3 微管式动态生物膜反应器的设计	(192)
8.4 微管式动态生物膜组件的安装	(195)
8.5 微管式动态生物膜反应器的调试	(196)
8.6 微管式动态生物膜反应器的运行管理	(197)
第九章 自生动态膜生物反应器工程实例	(201)
9.1 市政污水处理工程实例	(201)
9.1.1 项目概述	(201)
9.1.2 废水水量、水质及处理要求	(201)
9.1.3 处理工艺	(204)
9.1.4 工程设计	(204)
9.1.5 投资、运行成本分析	(206)
9.2 工业废水处理工程实例	(208)
9.2.1 项目概述	(208)
9.2.2 废水水量、水质及处理要求	(209)
9.2.3 处理工艺	(210)
9.2.4 工程设计	(211)

9.2.5 投资、运行成本分析	(213)
9.3 新农村生活污水处理工程实例	(215)
9.3.1 项目概述	(215)
9.3.2 废水水量、水质及处理要求	(215)
9.3.3 处理工艺	(216)
9.3.4 工程设计	(217)
9.3.5 投资、运行成本分析	(218)
9.4 高速公路服务区污水处理工程实例	(220)
9.4.1 项目概述	(220)
9.4.2 废水水量、水质及处理要求	(220)
9.4.3 处理工艺	(220)
9.4.4 工程设计	(221)
9.4.5 投资、运行成本分析	(223)
9.5 施工营地污水处理工程实例	(224)
9.5.1 项目概述	(224)
9.5.2 废水水量、水质和处理要求	(224)
9.5.3 处理工艺	(225)
9.5.4 工程设计	(227)
9.5.5 投资、运行成本分析	(229)

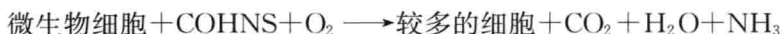
第一章 绪 论

1.1 污水生物处理技术概述

污水生物处理技术是利用微生物的吸附、降解作用把污水中的有机物转化为简单的无机物,使污水得到净化的方法,亦称污水生物化学处理法。根据处理过程中反应器内游离氧的浓度,可分为好氧生物处理法和厌氧生物处理法。根据微生物在反应器中存在的形式,好氧生物处理法又分为活性污泥法和生物膜法。

1.1.1 污水好氧生物处理技术原理

好氧生物处理法即利用好氧微生物在有氧条件下以水中存在的有机污染物为基质进行好氧代谢使污水中复杂有机物分解的方法。生活污水中的典型有机物是碳水化合物、合成洗涤剂、脂肪、蛋白质及其分解产物如尿素、甘氨酸、脂肪酸等。这些有机物可按生物体系中所含元素量的多寡顺序表示为 COHNS。在废水好氧生物处理中全部反应可用下式表示:



生物体系中的这些反应有赖于生物体系中的酶来加速。酶按其催化反应分为:① 氧化还原酶,在细胞内催化有机物的氧化还原反应,促进电子转移,使其与氧化合或脱氢。氧化酶可活化分子氧,作为受氢体而形成水或过氧化氢。还原酶包括各种脱氢酶,可活化基质上的氢,并由辅酶将氢传给被还原的物质,使基质氧化,受氢体还原;② 水解酶,对有机物的加水分解反应起催化作用。水解反应是在细胞外产生的最基本的反应,能将复杂的高分子有机物分解为小分子,使之易于透过细胞壁。如将蛋白质分解为氨基酸,将脂肪分解为脂肪酸和甘油,将复杂的多糖分解为单糖等。此外还有脱氨基、脱羧基、磷酸化和脱磷酸等酶。许多酶只有在一些称为辅酶和活化剂的特殊物质存在时才能进行催化反应,钾、钙、镁、锌、钴、锰、氯化物、磷酸盐离子在许多种酶的催化反应中是不可缺少的辅酶或活化剂。

在好氧生物处理过程中,污水中的有机物在微生物酶的催化作用下被氧化降解,分三个阶段:① 第一阶段:大的有机物分子降解为构成单元——单糖、氨基酸或甘油和脂肪酸。② 第二阶段:第一阶段的产物部分地被氧化为下列物质中的一种或几种:二氧化碳、水、乙酰基辅酶 A、 α -酮戊二酸(或称 α -氧化戊二酸)或草醋酸(又称草酰乙酸)。③ 第三阶段(即三羧酸循环,是有机物氧化的最终阶段)是乙酰基辅酶 A、 α -酮戊二酸和草醋酸被氧化为二氧化碳和水。有机物在氧化降解的各个阶段,都释放出一定的能量。

在有机物降解的同时,还发生微生物原生质的合成反应。在第一阶段中由被作用物分解成的构成单元可以合成碳水化合物、蛋白质和脂肪,再进一步合成细胞原生质,合成能量是微生物在有机物的氧化过程中获得的^[1]。

在污水处理中,好氧生物处理技术主要包括活性污泥法,生物膜法以及稳定塘(氧化塘)和土地处理。其中运用最为广泛的是活性污泥法和生物膜法。

1.1.1.1 活性污泥法

活性污泥法是由 E. Ardern 和 W. T. Lockett 于 1914 年在英格兰创立的。他们发现,通过对污水长时间曝气可以形成絮状悬浮颗粒。当这些悬浮颗粒被保留在系统当中时,有机污染物去除的时间可由几天缩小到几个小时。由于这些悬浮颗粒是有“活性”的,因此他们将该种工艺命名为“活性污泥法”^[2]。

传统活性污泥法工艺流程见图 1.1。

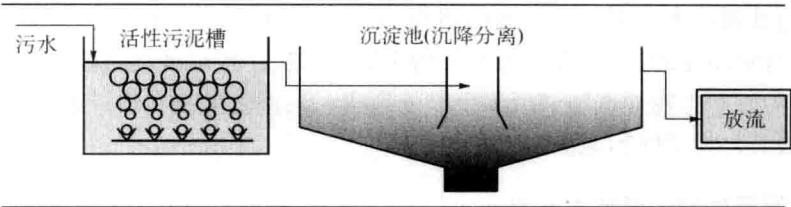


图 1.1 传统活性污泥法工艺流程

在人工充氧的条件下,可以培养、驯化大量的微生物群体,形成吸附、降解和固液分离性能良好的活性污泥。活性污泥的吸附和生化氧化作用可以分解去除污水中的有机物质,使污水得以净化;通过物理沉淀作用,活性污泥与废水分离;澄清后的污水作为处理后的出水排出系统。

近几十年来,随着该技术在 实际生产上的广泛应用和技术上的不断革新,活性污泥法在生物学、反应动力学的理论方面以及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,如推流式活性污泥法、完全混合式活性污泥法、间歇式活性污泥法、氧化沟、AB 法污水处理工艺和膜生物反应器系统等。

活性污泥法污水处理的优缺点大致如下:

- (1) 优点:① 由曝气池、沉淀池、污泥回流和剩余污泥排除系统组成,程序简单,设备要求不高;② 污水中的可溶性有机污染物为活性污泥所吸附,并被存活在活性污泥上的微生物群体所分解,使污水得到净化,出水水质好。
- (2) 缺点:① 基建与运行费用较高;② 能耗较大;③ 产生的剩余污泥量大;④ 管理较复杂,易出现污泥膨胀和污泥上浮等问题;⑤ 对 N、P 等营养物质去除效果有限。

1.1.1.2 生物膜法

污水的生物膜处理法既是古老的,又是发展中的污水生物处理技术。这种处理法的实质是使细菌和菌类一类的微生物和原生动物、后生动物一类的微型动物附着在滤料或某些载体上生长繁殖,并在其上形成膜状生物污泥——生物膜。污水与生物膜接触,污水中的有机物作为营养物质,为生物膜上的微生物所摄取,污水得到净化,微生物自身也得到繁衍增殖。

污水与滤料或某种载体流动接触,经过一段时间后,在其表面形成一种膜状污泥——生物膜所覆盖,生物膜逐渐成熟,其标志是:生物膜沿水流方向分布,在其上由细菌和微生物组

成的生态系以及其对有机物的降解功能都达到了相对平衡和稳定的状态。从开始形成到成熟,生物膜经过潜伏和生长两个阶段,一般的城市污水,在 20℃ 的条件下大致需要 30 天左右形成稳定的生物膜。

生物膜是高度亲水的物质,在污水不断在其表面更新的条件下,在其外侧总是存在着一层附着水层。生物膜又是微生物高度密集的物质,在膜的表面和一定深度的内部生长繁殖着大量的各种类型的微生物和微型动物,形成有机污染物—细菌—原动物(后动物)的食物链^[3]。

生物膜法具有运行稳定、脱氮效能强、抗冲击负荷能力强、经济节能、无污泥膨胀问题,并能在其中形成稳定的食物链,污泥产量较活性污泥法少等优点。它主要适用于温暖地区和中小城镇的污水处理。

主要的生物膜法工艺有生物滤池(普通生物滤池、高负荷生物滤池、塔式生物滤池)、生物转盘、生物接触氧化设备和生物流化床等。

1.1.1.3 稳定塘

1) 分类及特点

稳定塘又名氧化塘或生物塘,是一种利用天然净化能力与人工强化技术结合处理污水的生物处理设施。作为一种比较古老的污水处理技术,稳定塘始于 19 世纪末期,在 20 世纪 50 年代以后才得到较快的发展。据统计,目前已有几十个国家采用稳定塘技术处理城市污水和有机工业废水。我国部分城市也早在 50 年代就已开展了稳定塘的研究,到 60 年代末开始陆续修建了一批稳定塘。目前,稳定塘多用于处理中、小城镇的污水,可用作一级处理、二级处理,也可以用作三级处理。

常见的稳定塘有以下几种:

(1) 好氧塘

好氧塘的深度较浅,一般不超过 0.5 m,阳光能透至塘底,塘内菌藻共生,溶解氧主要是由藻类供给,全部塘水都含有溶解氧,好氧微生物起净化污水作用。

(2) 兼性塘

兼性塘的深度较大,一般在 1.0 m 以上。上层为好氧区,藻类的光合作用和大气复氧作用使其有较高的溶解氧,由好氧微生物起净化污水作用;中层为兼氧区,溶解氧逐渐减少,由兼性微生物起净化作用;下层塘水无溶解氧,称厌氧区,沉淀污泥在塘底进行厌氧分解。

(3) 厌氧塘

厌氧塘的塘深在 2 m 以上,有机负荷高,全部塘水均无溶解氧,呈厌氧状态,由厌氧微生物起净化作用,净化速度慢,污水在塘内停留时间长。

(4) 曝气塘

曝气塘采用人工曝气供氧,塘深在 2 m 以上,全部塘水有溶解氧,由好氧微生物起净化作用,污水停留时间较短。在曝气条件下,藻类的生长与光合作用受到抑制。

(5) 深度处理塘

深度处理塘又称三级处理塘或熟化塘,其进水有机污染物浓度很低,一般 $BOD_5 \leq 30 \text{ mg/L}$ 。常用于处理传统二级处理厂的出水,提高出水水质,以满足受纳水体或回用水的水质要求。

除上述几种常见的稳定塘以外,还有水生植物塘(塘内种植水葫芦、水花生等水生植物,以提高污水净化效果,特别是提高对磷、氮的净化效果)、生态塘(塘内养鱼、鸭、鹅等,通过食物链形成复杂的生态系统,以提高净化效果)、完全储存塘(完全蒸发塘)等也正在被广泛研究、开发和应用。

作为污水处理技术,稳定塘有下述优点:

① 基建投资低。当有旧河道、沼泽地、谷地可利用作为稳定塘时,稳定塘系统的基建投资低。

② 运行管理简单、经济。稳定塘运行管理简单,动力消耗低,运行费用较低,约为传统二级处理厂的 $1/3 \sim 1/5$ 。

③ 可进行综合利用,实现污水资源化。如将稳定塘出水用于农业灌溉,充分利用污水的水肥资源;养殖水生动物和植物,组成多级食物链的复合生态系统。

但是,稳定塘也有以下缺点:

① 占地面积大,没有空闲余地时不宜采用。

② 处理效果受气候影响,如季节、气温、光照、降雨等自然因素都影响稳定塘的处理效果。

③ 设计运行不当时,可能形成二次污染:如污染地下水、产生臭气和滋生蚊蝇等。

虽然稳定塘存在着上述缺点,但是如果能进行合理的设计和科学的管理,利用稳定塘处理污水,则可以有明显的环境效益、社会效益和经济效益。

2) 稳定塘的设计^[4]

(1) 好氧塘

根据在处理系统中的位置和功能,好氧塘有高负荷好氧塘、普通好氧塘和深度处理好氧塘等三种。

① 高负荷好氧塘:这类好氧塘的有机物负荷率较高,污水停留时间短,塘水中的藻类浓度很高,仅适于气候温暖、阳光充足的地区。常用于可生化性较好的工业废水处理中。

② 普通好氧塘:这类塘常用于处理城市污水,起二级处理作用。特点是有机负荷较高,塘的水深较高负荷好氧塘大,水力停留时间较长。

③ 深度处理好氧塘:深度处理好氧塘设置在塘处理系统的后部或二级处理系统之后,作为深度处理设施。特点是有机负荷较低,塘的水深较高负荷较好氧塘大。

好氧塘净化有机污染物的基本工作原理如图 1.2 所示。塘内存在着菌、藻和原生动物的共生系统。有阳光照射时,塘内的藻类进行光合作用,释放出氧,同时,由于风力的搅动,塘表面还存在自然复氧,二者使塘水呈好氧状态。塘内的好氧型异养细菌利用水中的氧,通过好氧代谢氧化分解有机污染物并合成本身的细胞质(细胞增殖),其代谢产物则是藻类光合作用的碳源。

藻类的光合作用使塘水的溶解氧和 pH 值呈昼夜变化。白昼,藻类光合作用释放的氧,超过细菌降解有机物需氧量,此时塘水的溶解氧浓度很高,可达到饱和状态。夜间,藻类停止光合作用,且由于生物的呼吸消耗氧,水中的溶解氧浓度下降,凌晨时达到最低。阳光再照射后,溶解氧再逐渐上升。好氧塘的 pH 值与水中 CO_2 浓度有关,受塘水中碳酸盐系统的 CO_2 平衡关系影响。白天,藻类光合作用使 CO_2 降低,pH 值上升。夜间,藻类停止光合作用,细菌降解有机物的代谢没有中止, CO_2 累积,pH 值下降。

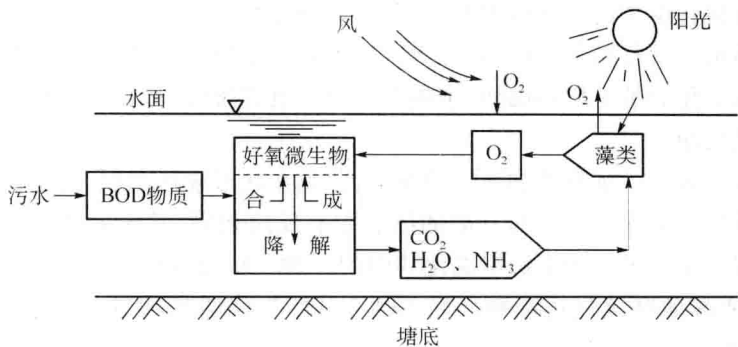


图 1.2 好氧塘工作原理示意图

好氧塘内的生物种群主要有藻类、菌类、原生动物、后生动物、水蚤等微型动物。菌类主要生存在水深 0.5 m 的上层，浓度约为 $1 \times 10^8 \sim 5 \times 10^9$ 个/mL，主要种属与活性污泥和生物膜相同。原生动物和后生动物的种属数与个体数，均比活性污泥法和生物膜法少。水蚤捕食藻类和菌类，本身则是好的鱼饵，但过分增殖会影响塘内菌和藻的数量。藻类的种类和数量与塘的负荷有关，它可反映塘的运行状况和处理效果。若塘水营养物质浓度过高，会引起藻类异常繁殖，产生藻类水华，此时藻类聚结形成蓝绿色絮状体和胶团状体，使塘水浑浊。

好氧塘工艺设计的主要内容是计算好氧塘的尺寸和个数，多采用经验数据进行设计。好氧塘主要尺寸的经验值如下：

- ① 好氧塘多采用矩形，表面的长宽比为 3 : 1~4 : 1，一般以塘深的 1/2 处的面积作为计算塘面。塘堤的超高为 0.6~1.0 m。单塘面积不宜大于 4 ha。
- ② 塘堤的内坡坡度为 1 : 2~1 : 3(垂直:水平)，外坡坡度为 1 : 2~1 : 5(垂直:水平)。
- ③ 好氧塘的座数一般不少于 3 座，规模很小时不少于 2 座。

(2) 兼性塘

兼性塘的有效水深一般为 1.0~2.0 m，通常由三层组成，上层好氧区、中层兼性区和底部厌氧区，如图 1.3 所示。

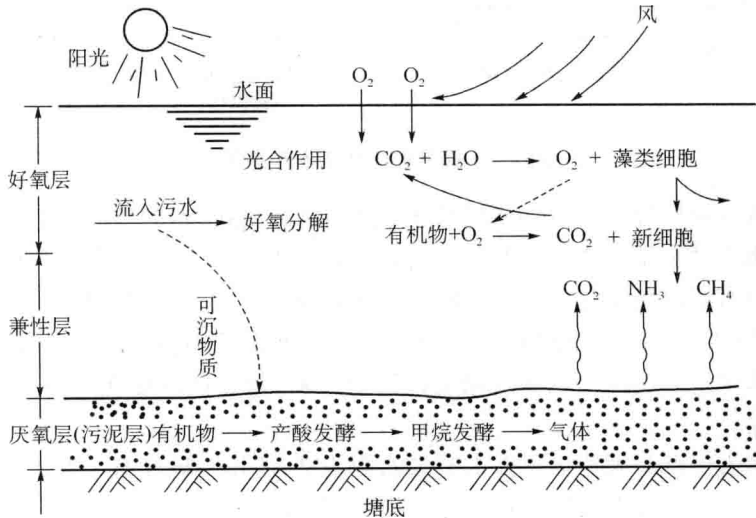


图 1.3 兼性塘工作原理示意图

好氧区对有机污染物的净化机理与好氧塘基本相同。

兼性区的塘水溶解氧较低,且时有时无。这里的微生物是异养型兼性细菌,它们既能利用水中的溶解氧氧化分解有机污染物,也能在无分子氧的条件下,以硝酸根和碳酸根作为电子受体进行无氧代谢。

厌氧区无溶解氧。可沉物质和死亡的藻类、菌类在此形成污泥层,污泥层中的有机质由厌氧微生物对其进行厌氧分解。与一般的厌氧发酵反应相同,其厌氧分解包括酸发酵和甲烷发酵两个过程。发酵过程中未被甲烷化的中间产物(如脂肪酸、醛、醇等)进入塘的上、中层,由好氧菌和兼性菌继续进行降解。而 CO_2 、 NH_3 等代谢产物进入好氧层,部分逸出水面,部分参与藻类的光合作用。

由于兼性塘的净化机理比较复杂,因此兼性塘去除污染物的范围比好氧处理系统广泛,它不仅可去除一般的有机污染物,还可有效地去除磷、氮等营养物质和某些难降解的有机污染物,如木质素、有机氯农药、合成洗涤剂、硝基芳烃等。因此,它不仅用于处理城市污水,还被用于处理石油化工、有机化工、印染、造纸等工业废水。

兼性塘一般采用负荷法进行计算。兼性塘主要尺寸的经验值如下:

① 兼性塘一般采用矩形,长宽比 $3:1 \sim 4:1$ 。塘的有效水深为 $1.2 \sim 2.5 \text{ m}$,超高为 $0.6 \sim 1.0 \text{ m}$,储泥区高度应大于 0.3 m 。

② 兼性塘堤坝的内坡坡度为 $1:2 \sim 1:3$ (垂直:水平),外坡坡度为 $1:2 \sim 1:5$ 。

③ 兼性塘一般不少于 3 座,多采用串联,其中第一塘的面积约占兼性塘总面积的 $30\% \sim 60\%$,单塘面积应小于 4 ha ,以避免布水不均匀或波浪较大等问题。

(3) 曝气塘

曝气塘是在塘面上安装有人工曝气设备的稳定塘(图 1.4)。曝气塘有两种类型:完全混合曝气塘和部分混合曝气塘。塘内生长有活性污泥,污泥可回流也可不回流,有污泥回流的曝气塘实质上是活性污泥法的一种变型。微生物生长的氧源来自人工曝气和表面复氧,以前者为主。曝气设备一般采用表面曝气机,也可用鼓风曝气。

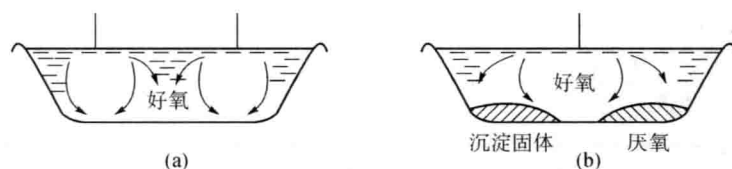


图 1.4 曝气塘工作原理示意图

完全混合曝气塘中曝气装置的强度应能使塘内的全部固体呈悬浮状态,并使塘水有足够的溶解氧供微生物分解有机污染物。部分混合曝气塘不要求保持全部固体呈悬浮状态,部分固体沉淀并进行厌氧消化。其塘内曝气机布置较完全混合曝气塘稀疏。

曝气塘出水的悬浮固体浓度较高,排放前需进行沉淀,沉淀的方法可以用沉淀池,或在塘中分割出静水区用于沉淀。若曝气塘后设置兼性塘,则兼性塘要在进一步处理其出水的同时起沉淀作用。

曝气塘的水力停留时间为 $3 \sim 10 \text{ d}$,有效水深为 $2 \sim 6 \text{ m}$ 。曝气塘一般不少于 3 座,通常按串联方式运行。完全混合曝气塘每立方米塘容积所需功率较小 ($0.015 \sim 0.05 \text{ kW/m}^3$),

但由于其水力停留时间长,塘的容积大,所以每处理 1m^3 污水所需功率大于常规的活性污泥法的曝气池。

(4) 稳定塘

稳定塘处理系统由预处理设施、稳定塘和后处理设施等三部分组成。

为防止稳定塘内污泥淤积,污水进入稳定塘前应先去水中的悬浮物质。常用设备为格栅、普通沉砂池和沉淀池。若塘前有提升泵站,而泵站的格栅间隙小于 20mm 时,塘前可不另设格栅。原污水中的悬浮固体浓度小于 100mg/L 时,可只设沉砂池,以去除砂质颗粒。原污水中的悬浮固体浓度大于 100mg/L 时,需考虑设置沉淀池。设计方法与传统污水二级处理方法相同。

稳定塘设计要点:

① 塘的位置:稳定塘应设在居民区下风向 200m 以外,以防止塘散发的臭气影响居民区。此外,塘不应设在机场 2km 以内的地方,以防止鸟类(如水鸥)到塘中觅食、聚集,对飞机航行构成危险。

② 防止塘体损害:为防止浪的冲刷,塘的衬砌应在设计水位上下各 0.5m 以上。若需防止雨水冲刷时,塘的衬砌应做到堤顶。衬砌方法有干砌块石、浆砌块石和混凝土板等。

在有冰冻的地区,背阴面的衬砌应注意防冻。若筑堤土为黏土时,冬季会因毛细作用吸水而冻胀,因此,在结冰水位以上应置换为非黏性土。

③ 塘体防渗:稳定塘渗漏可能污染地下水源;若塘出水考虑再回用,则塘体渗漏会造成水资源损失,因此,塘体防渗是十分重要的。但某些防渗措施的工程费用较高,选择防渗措施时应十分谨慎。防渗方法有素土夯实、沥青防渗衬面、膨润土防渗衬面和塑料薄膜防渗衬面等。

④ 塘的进出口:进出口的形式对稳定塘的处理效果有较大的影响。设计时应注意配水、集水均匀,避免短流、沟流及混合死区。主要措施为采用多点进水和出水;进口、出口之间的直线距离尽可能大;进口、出口的方向避开当地主导风向。

1.1.1.4 土地处理系统

土地处理系统(Land Processing System)也属于污水自然处理范畴,是利用土地及其微生物和植物根系对污水(废水)进行处理,同时又利用其中的水分和肥分促进农作物、牧草或树木生长的工程设施。属于常年性污水处理工程,常用于中小城市污水二级污水处理之后代替高级处理。由污水的沉淀预处理、贮水塘湖、灌溉系统、地下排水等系统组成。污水土地处理系统是人工规划、设计与自然相结合,以及水处理与利用相结合的环境系统工程,处理方式一般为污水灌溉(通过喷洒或自流将污水排放到土地上以促进植物的生长)、渗滤(将污水排放到粗砂、土壤和砂壤土土地上经渗滤处理并补充地下水)和地表漫流。

① 灌溉

通过喷洒或自流将污水有控制地排放到土地上以促进植物的生长。污水被植物摄取,并被蒸发和渗滤。灌溉负荷量每年约为 $0.3\sim 1.5\text{m}$ 。灌溉方法取决于土壤的类型、作物的种类、气候和地理条件。通用的方法有喷灌、漫灌和垄沟灌溉。

喷灌:采用由泵、干渠、支渠、升降器、喷水器等组成的喷洒系统将污水喷洒在土地上。这种灌溉方法适用于各种地形的土地,布水均匀,水损耗少,但是费用昂贵,而且对水质要求

较严,必须是经过二级处理的。

漫灌:土地间歇地被一定深度的污水淹没,水深取决于作物和土壤的类型。漫灌的土地要求平坦或比较平坦,以使地面的水深保持均匀,地上的作物必须能够经受得住周期性的淹没。

垄沟灌溉:靠重力流来完成。采用这种灌溉方式的土地必须相当平坦。将土地犁成交替排列的垄和沟。污水流入沟中并渗入土壤,垄上种植作物。垄和沟的宽度和深度取决于排放的污水量、土壤的类型和作物的种类。

上述三种灌溉方式都是间歇性的,可使土壤中充满空气,以便对污水中的污染物进行好氧生物降解。

② 地表漫流

用喷洒或其他方式将废水有控制地排放到土地上。土地的水力负荷每年为 1.5~7.5 m。适于地表漫流的土壤为透水性差的黏土和黏质土壤。地表漫流处理场的土地应平坦并有均匀而适宜的坡度(2~6°),使污水能顺坡度成片地流动。地面上通常播种青草以供微生物栖息和防止土壤被冲刷流失。污水顺坡流下,一部分渗入土壤中,有少量蒸发掉,其余流入汇集沟。污水在流动过程中,悬浮固体被滤掉,有机物被草上和土壤表层中的微生物氧化降解。这种方法主要用于处理高浓度的有机废水,如罐头厂的废水和城市污水。

1.1.2 污水厌氧生物处理技术原理

厌氧生物处理又称为厌氧生物消化,是指在厌氧条件下,兼性厌氧和厌氧微生物群体将有机物转化为甲烷和二氧化碳的过程。该技术不仅用于有机污泥和高浓度有机废水的处理,而且能有效处理城市污水等低浓度污水。

在相当长的一段时间内,厌氧消化在理论、技术和应用上远远落后于好氧生物处理的发展。20 世纪 60 年代以来,世界能源短缺问题日益突出,这促使人们对厌氧消化工艺进行重新认识,对处理工艺和反应器结构的设计以及甲烷回收进行了大量研究,使得厌氧消化技术的理论和实践都有了很大进步,并得到广泛应用。污水厌氧生物处理工艺按微生物的凝聚形态可分为厌氧活性污泥法和厌氧生物膜法。近年来,相继开发的厌氧生物滤床、厌氧接触池、上流式厌氧污泥床、厌氧膨胀床、内循环厌氧反应器、厌氧折流板反应器和分段厌氧处理设备,都属于新型的厌氧生物处理设备^[5]。

与好氧生物处理技术相比,厌氧生物处理有以下优缺点:

(1) 优点:无需搅拌和供氧,动力消耗少;能产生大量含甲烷的沼气,是很好的能源物质,可用于发电和家庭燃气;可高浓度进水,保持高污泥浓度,所以其溶剂有机负荷达到国家标准仍需要进一步处理。

(2) 缺点:初次启动时间长;对温度要求较高;对毒物影响较敏感;遭破坏后,恢复期较长。

厌氧消化是一个极其复杂的过程。1979 年, J. G. Zeikus 在第一节国际厌氧消化会议上提出了四种群厌氧微生物参与消化作用,并将厌氧过程分为四个阶段:

(1) 水解阶段:高分子有机物由于其大分子体积,不能直接通过厌氧菌的细胞壁,需要在微生物体外通过胞外酶加以分解成小分子。废水中典型的有机物质比如纤维素被纤维素