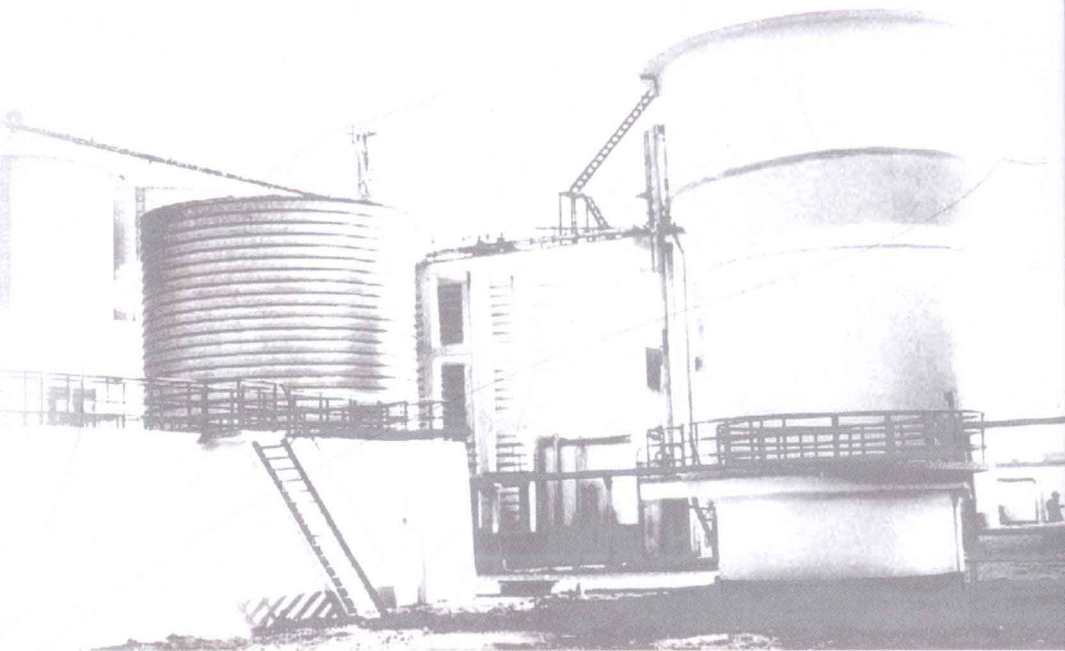




EGSB 反应器 温度效能关系及研究方法

EGSB FANYINGQI

WENDU XIAONENG GUANXI JI YANJIU FANGFA

贾学斌◎著



黑龙江大学出版社
HEILONGJIANG UNIVERSITY PRESS

EGSB 反应器 温度效能关系及研究方法

EGSB FANYINGQI

WENDU XIAONENG GUANXI JI YANJIU FANGFA

贾学斌◎著



黑龙江大学出版社

HEILONGJIANG UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

EGSB 反应器温度效能关系及研究方法 / 贾学斌著.

-- 哈尔滨: 黑龙江大学出版社, 2011.3

ISBN 978-7-81129-362-3

I. ①E… II. ①贾… III. ①废水处理-厌氧处理-反应器 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 015279 号

- 书 名 EGSB 反应器温度效能关系及研究方法
著作责任者 贾学斌 著
出 版 人 李小娟
责 任 编 辑 赵丽华
出版发行 黑龙江大学出版社(哈尔滨市学府路 74 号 150080)
网 址 <http://www.hljupress.com>
电 子 信 箱 hljupress@163.com
电 话 (0451)86608666
经 销 新华书店
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 880 × 1230 1/32
印 张 7
字 数 147 千
版 次 2011 年 10 月第 1 版 2011 年 10 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-81129-362-3
定 价 26.00 元

本书如有印装错误请与本社联系更换
版权所有 侵权必究

前 言

治理有机物污染的首选技术是生物处理技术,它比化学和物化处理技术效果好,而且处理费用低。生物处理技术分为好氧和厌氧两种方式。近年来,随着各国能源紧张、环境污染日益严重,好氧活性污泥法由于曝气带来巨大的能耗,不仅直接消耗电力等资源,在投加药剂过程中还存在间接消耗能源的问题,而且污泥产量高,大量剩余污泥需要处置,占地面积大、构筑物敞开运行、有害气体逸出造成的大气污染等问题已成为限制其实际应用的瓶颈。相关资料表明,因我国处理低浓度有机废水主要采用好氧工艺,我国食品生产、制革、脂肪酸生产等部分行业全年排放的有机废水,若用好氧处理,将至少耗电 $1.4 \times 10^9 \text{ kW} \cdot \text{h}$,年运转费用约 1 亿元。

目前,研究者越来越关注剩余污泥量少、耗能少,而且还能直接或间接利用可再生生物能的厌氧处理技术。尤其是 20 世纪 80 年代新型“高速”厌氧反应器的出现,使得厌氧处理技术正逐渐成为一种能够满足环境质量要求的较为经济的热门和核心技术。膨胀颗粒污泥床反应器(Expanded Granular Sludge Blanket Reactor,简称 EGSB 反应器)充分发挥了上升流厌氧污

泥床反应器 (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor, 简称 UASB 反应器) 的高污泥量的优势和厌氧流化床 (Anaerobic Fluidized Beds, 简称 AFB) 的高效传质、高有机负荷率的优势, 是很有发展前景的一种“高速”厌氧反应器。

全书主要阐述了接种市政消化污泥的 EGSB 反应器的启动、启动成功后的 EGSB 反应器在高温 (55 °C)、中温 (35 °C) 及低温 (15 °C) 3 种温度条件下的容积负荷、pH 值、水力停留时间、挥发性有机酸浓度、液体上升流速、回流条件等因素对 EGSB 反应器的运行效能的及实验研究方法。同时, 对反应器的启动, 以及不同状态下的颗粒污泥的形态、性能, 挂壁生物膜的特征及对实验运行效果的影响都有较详尽的介绍。

本书得以著成, 完全得益于我的导师吕炳南教授。在我攻读博士学业期间, 先生给予了莫大的启迪和帮助, 本书是本人在先生指导下攻读博士研究生学位的成果。在本课题研究过程中, 哈尔滨工业大学刘冬梅副教授参与了大部分试验及数据分析, 并在成书阶段撰写了部分章节和修改了很多相关的内容。

本书的问世, 其相当的内容和成果并不是我们一两个作者就能完成的, 在此, 我还要感谢我的师兄弟和曾经的同事及老师们, 董春娟、李慧丽、王传山、陆宏宇、李芳、王广智等师兄弟和姐妹们, 尤其是董春娟和李慧丽二位博士在准备实验和实验操作中给予了大量无私的协助; 孙丽欣、崔崇威、李伟光、李建政、曲秀全、吕春梅、杨基先、张振宇、陈志强、温沁雪、施雪华、齐虹等老师在实验检测和实验条件上给予了全方位的支持和大力帮

助,国家重点实验室(哈尔滨工业大学)任南琪、马放、冯玉杰、陈忠林等老师提供的开放课题对本研究的深入开展和完善给予的支持和帮助。在此我再次向帮助我的所有人致以衷心的感谢!

贾学斌

2010 年 12 月

目 录

1	绪 论	1
1.1	污水生物处理研究的背景	1
1.2	污废水处理技术发展状况	3
2	厌氧生物处理工艺的发展与应用	6
2.1	厌氧生物处理工艺的发展	6
2.2	厌氧消化理论	11
2.3	温度对厌氧微生物的影响	19
2.4	EGSB 反应器的研究与应用	22
2.5	EGSB 反应器的启动与运行存在的主要问题	32
2.6	EGSB 反应器的温度效能关系研究的目的与 意义	38
3	EGSB 反应器试验工艺及方法	41
3.1	反应器的设计	41
3.2	EGSB 反应器工艺流程及运行条件	47
3.3	试验方法、分析项目和测试方法	50
3.4	主要分析项目	51
3.5	测试方法	52
3.6	试验装置与实际工程差距分析	56

4	中温条件下 EGSB 反应器运行特性	58
4.1	EGSB 反应器的初次启动	59
4.2	EGSB 厌氧反应器的二次启动	67
4.3	颗粒污泥形成的影响因素	78
4.4	不同负荷的运行状况	83
4.5	溶解氧对 COD 去除率的影响	94
	本章小结	101
5	高温和低温条件下 EGSB 反应器的运行特性	103
5.1	EGSB 反应器在高温条件下的运行状况	104
5.2	低温条件下 EGSB 反应器运行特性	114
5.3	影响反应器运行的主要因素分析	129
	本章小结	141
6	EGSB 反应器挂壁生物膜作用研究	143
6.1	问题的提出	144
6.2	挂壁生物膜的测取方法	145
6.3	中温条件下挂壁生物膜的性状及作用研究	148
6.4	高温和低温条件下挂壁生物膜的性状及作用 研究	155
6.5	反应器挂壁生物膜的形成及微生物形态	161
	本章小结	166
7	EGSB 反应器的动力学分析	169
7.1	灰色系统与灰色建模	170
7.2	EGSB 反应器的动力学模型研究	173
	本章小结	192
	参考文献	195

1 绪 论

1.1 污水生物处理研究的背景

全球水污染问题已经对人类生存和经济发展构成越来越严重的威胁。防治水体恶化,保护水资源,走可持续发展的道路已经成为人类共同追求的目标。随着我国城市化、工业化进程的加快,我国污废水排放量与日俱增,由于没有及时配备相应的污废水处理设施,进一步加剧了我国水环境的污染,这种状况严重制约了我国国民经济的发展,影响了人民生活水平的提高^[1]。

水是国家经济发展的命脉,污染与否及治理程度关系到国计民生问题。虽然自 2005 年起我国对环境保护工作加大了重视程度,重点流域、区域、城市和海域污染防治工作进一步加强,但总的排放指标仍然持续增长,局部区域发生了较大的环境事故。如 2005 年,由中国石油吉林石化分公司双苯厂爆炸事故引发了松花江重大水环境污染事件,珠江支流北江水域发生镉超标重大环境污染事件;2006 年,甘肃省徽县发生血铅超标事件^[2];2007 年,太湖水污染事件,以及巢湖蓝藻暴发事件;2008 年,贵州省独山县重大水污染事件;2009 年,江苏省盐城市特大

水污染事件;2010年,湖北省荆州市化工厂有毒物质泄漏事件,松花江吉林段约7 000个装有三甲基一氯硅烷、六甲基二硅氮烷等物质的化学原料桶漂浮事件,紫金矿业所属的福建省上杭县紫金山铜矿湿法厂污水池发生污水渗漏事件,等等。一桩又一桩的无情事实在不断地挑战着我国本已脆弱的水环境,但这些并没有让我们完整认识到水污染的严重和残酷。

从松花江苯泄漏到珠江支流北江镉污染,从滇池水葫芦疯长到太湖蓝藻泛滥,这样的报道已经屡见不鲜,从这些污染事件中不难看出,这些事故的影响以及危害面越来越大。自然界早就告诉过我们,水的供应量是固定的,同时,随着人口的增加以及其生活质量的不断提高,对水的需求不断上升。到目前为止,还没有爆发真正的水资源争夺战。但是,全球有60%的人口居住在河流流域,而一些河流又同时被两个以上的国家共享,争端将在所难免,当某个国家水资源短缺时,可能会引发大规模的移民甚至战争。因此,提高水资源的利用率和污废水的处理程度是关系到国计民生的大事。

污废水生物处理是对水污染进行防治和实现水资源可持续发展的重要技术手段,对水环境保护和解决环境资源短缺问题将起到至关重要的作用。开展污废水深度处理,可使污废水成为稳定的再生水源,实现污废水资源化,进而缓解水资源危机。因此,探求高效的污废水处理技术,实现污废水资源化是当前国内外污废水处理的主要研究方向。

1.2 污水处理技术发展状况

污水中的有机物是造成水污染的最主要污染物,它往往是使水域变质、发黑、发臭的罪魁祸首。污水中的有机物有些是有毒的化合物,因此,在保护环境、控制污染的工作中,对污水中有机物的处理是非常重要的。

目前,有机物污染处理的首选技术是生物处理技术,它比化学和物理处理技术效果好,而且处理费用低。生物处理技术分为好氧和厌氧两种方式。对于好氧与厌氧处理方式,环境研究者、设计者和工程师们常常倾向于选择前者,这是因为对厌氧过程的生化机制研究较少。长期以来,人们往往认为厌氧处理过程是不可靠的,厌氧消化被认为是一种较慢的生物处理过程,而且仅仅适用于对很有限的一些有机物进行处理,加之好氧处理系统能够获得很高的有机物去除率,技术成熟,操作相对简单,所以,以前常规的污水处理大多采用的是好氧活性污泥法,而将厌氧处理技术应用于污水处理的主要生物处理阶段^[3-4]及处理高浓度城市污水和工业废水^[5-6]。

近年来,随着国际国内能源紧张、环境污染日益严重,好氧活性污泥法所面临的由于曝气所带来巨大的能耗、污泥产量高、大量剩余污泥需要处置、占地面积大、构筑物敞开运行、有害气体逸出造成的大气污染等问题已成为限制其实际应用的瓶颈。相关资料表明^[7],因我国处理低浓度有机废水主要采用好氧工艺,不仅直接消耗电力等资源,在投加药剂过程中还存在间接消耗能源的问题。我国食品加工、制革、脂肪酸生产等部分行业全

年排放的有机废水,若采用好氧处理,将至少耗电 $1.4 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$,年运转费用约 1 亿元。再者,完全依靠耗能方法净化废水,必然会使可用的其他能源受到一定损失。

而与好氧工艺相比,厌氧处理工艺具有剩余污泥少、运行费用低、能源可回收等优点,被认为是发展前景看好的废水处理技术^[8-9]。厌氧处理工艺可节省好氧方法中曝气所耗用的电能,运转费用明显减少。而且,厌氧处理工艺可以把废水中潜在的含能物质(有机物)转为热值较高的清洁能源——沼气。每处理 1 t 的 BOD 产生 1 000 m³ 沼气,折合电能为 $2.6 \times 10^3 \text{ kW} \cdot \text{h}$,除可满足回用工艺所需的能量外,还可以用来向外供热、供能,这对缓解我国目前能源紧张的局面具有现实意义^[9]。在处理效果上,某些厌氧处理工艺的 COD 降解率在 90% 以上,无论从节省电耗回收能量、保护环境,还是从综合利用及降低废水处理的费用等方面看,采用高效厌氧反应器作为污废水的处理工艺都具有明显的优势^[10-11]。可见,厌氧生物技术是一种把废水处理和能源回收相结合的技术,符合我国目前提出的节能降耗、污染减排的原则和发展趋势。

鉴于以上情况,人们又重新把目光投向厌氧处理工艺,对以前存在的污废水处理观念又有了新的认识,进而在 20 世纪末,人们又开始对厌氧处理工艺进行了新一轮的研究^[12-13]。随着厌氧生物处理过程的微生物学、生物化学和反应器理论不断发展,厌氧处理技术的优势越来越被人们所认可。厌氧反应器经过不断的研究、实践,得到了很大的改进,其应用范围也越来越广范。目前,厌氧技术已由过去的主要用于高浓度有机废水处理和城市污水处理厂废污泥稳定化处理,向处理低浓度有机

废水和含难降解有机物的工业废水方面扩展。可以预见,废水厌氧处理技术在未来的污废水处理行业中将具有更广阔的应用前景。

2 厌氧生物处理工艺的发展与应用

2.1 厌氧生物处理工艺的发展

人类对厌氧生物处理法的研究,首先是从处理人类粪便开始的。从 1896 年英国出现第一座用于处理生活污水的厌氧消化池起,厌氧生物处理技术至今已经有百余年历史。

厌氧反应器的发展和厌氧技术的发展息息相关,可分为 3 个典型阶段:

第一阶段,以厌氧澄清池(如图 2-1 所示)或连续搅拌式反应器(Continuously Stirred-Tank Reactor, CSTR)为代表,其主要缺点在于污泥停留时间和水力停留时间很难分开,出水中含固量高,处理效率较低^[14]。

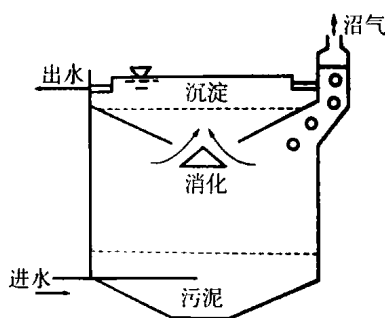


图 2-1 厌氧澄清池

第二阶段,随着对颗粒污泥和生物膜等生物固定技术的深

入了解, Schroeffer^[9]在20世纪50年代研究了厌氧接触工艺(如图2-2所示),60年代又开发了厌氧滤池(Anaerobic Filter, AF)(如图2-3所示),1974年荷兰的Lettinga等人开发出了以升流式厌氧污泥床(Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB)^[15](如图2-4所示)为主的第二代反应器。它有效地分离了水力停留时间和固体停留时间,使反应器中活性微生物的保持量显著提高,水力停留时间明显缩短,有机负荷大大提高。

AF和UASB反应器的发明,推动了对以微生物固定化和提高污泥与废水混合效率为基础的一系列新的高效厌氧反应器研

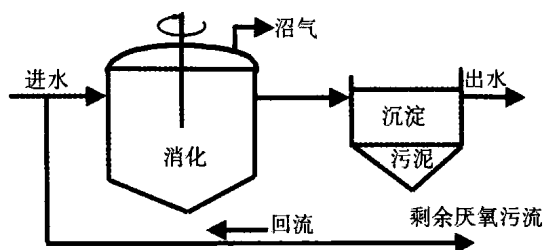


图2-2 厌氧接触池

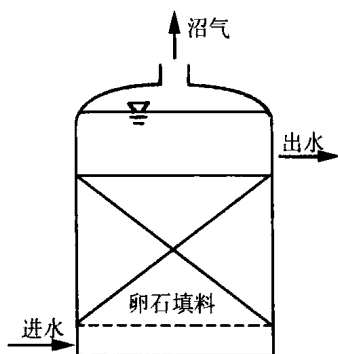


图2-3 厌氧滤池

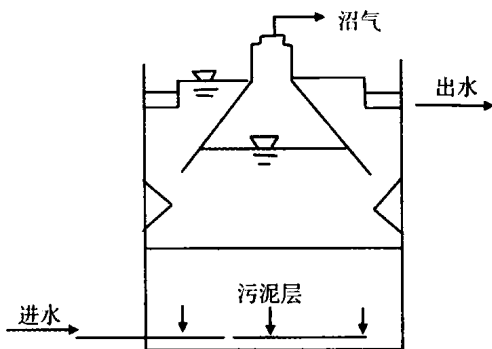


图 2-4 升流式厌氧污泥床

究的发展,如厌氧附着膨胀床(Anaerobic Attached Film Expanded Bed, AAFEB, 1978 年)^[6]、厌氧流化床(Anaerobic Fluidized Bed, AFB, 1979 年)^[16]、厌氧生物转盘(Anaerobic Rotating Biological Contactor, ARBC, 1980 年)^[16]、厌氧折板式厌氧反应器(Anaerobic Baffled Reactor, ABR, 1982 年)^[16]。虽然第二代高效厌氧反应器系统成功地分离了污泥停留时间和水力停留时间,但是进水与厌氧污泥之间并不能保持充分的接触,这种情况使得 UASB 反应器的应用受到了限制,一般被用在中、高温条件下处理中、高浓度的有机废水,很少用于较低温度下低浓度废水的处理^[17]。

第三阶段的第三代厌氧反应器是在 UASB 反应器的基础上进行改进而来的,主要是为拓宽其应用范围及实现污泥与进水的充分混合。20 世纪 80 年代后,专家们先后研发出了上流式污泥床过滤器(Upflow Blanket Filter, UBF)(如图 2-5 所示)、厌氧折板式反应器(Anaerobic Baffled Reactor, ABR)(如图 2-6 所示)、厌氧序批间歇式反应器(Anaerobic Sequencing Batch Re-

actor, ASBR)、厌氧膜生物系统(Anaerobic Membrane Biosystem, AMBS)、厌氧内循环(Inside Cycling, IC)反应器(如图 2-7 所示)、厌氧膨胀颗粒污泥床(Expanded Granular Sludge Bed, EGSB)反应器等^[18]。近来,对基于阶段式多相厌氧消化(Stage Multi-Phase Anaerobic, 简称 SMPA)系统的最新的第三代厌氧反应器的研究逐渐兴起。新型高效厌氧反应器的出现,使得厌氧处理技术正逐渐成为一种能够满足环境质量要求的较为经济的热门、核心技术。

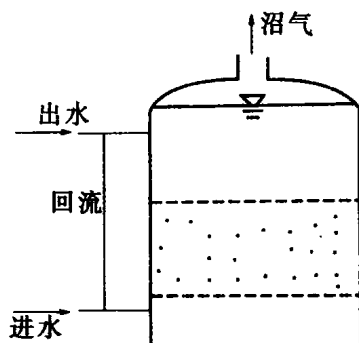


图 2-5 上流式污泥床过滤器

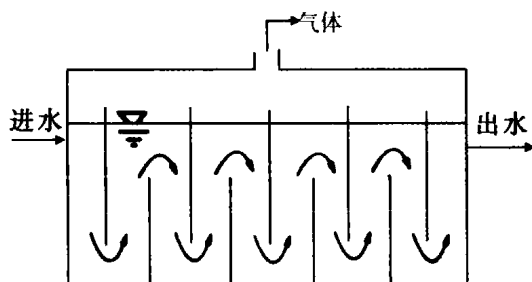


图 2-6 厌氧折板式反应器