

环境工程治理技术丛书

高浓度有机废水 厌氧处理技术

国家环境保护局 科技标准司 主持
环境工程科技协调委员会

中国环境科学出版社



环境工程治理技术丛书

高浓度有机废水厌氧 处理技术

国家环境保护局 科技标准司 主持
环境工程科技协调委员会

申立贤 编著

郑元景 沈光范 审校

中国环境科学出版社

内 容 简 介

本书简练地阐述了厌氧生物处理技术的发展；厌氧处理过程及影响因素。着重介绍了厌氧生物处理的主要工艺，尤其就几种高浓度有机废水厌氧处理的新近成果，进行了深入的说明、突出介绍了上流式厌氧污泥床反应器的结构与培养厌氧颗粒污泥的工艺条件等。

本书可供给排水、环境工程与沼气发酵技术研究、设计以及管理人员参考。

环境工程治理技术丛书 高浓度有机废水厌氧处理技术

国家环境保护局 科技标准司 主持
环境工程科技协调委员会

申立贤 编著
郑元景 沈光范 审校
责任编辑 陈菁华

中国环境科学出版社出版
北京崇文区北岗子街8号
三河县艺苑印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经售

1991年3月 第 一 版 开本 787×1092 1/32

1991年3月 第一次印刷 印张 7 5/8

印数 1—2 850 字数 175千字

ISBN 7-80010-737-X/X·397

定价：4.30元

《环境工程治理技术丛书》编辑委员会

主 编	张崇华			
副主编	顾国维	沈光范	刘秀茹	臧玉祥
编 委	魏 平	朱耀华	程岩法	彭志良
	黄文国	蒋如质	曹凤中	宫 伟
	蒋琪瑛			

序

解决我国的环境问题，一靠政策，二靠管理，三靠科学技术。在政策上，我国已把环境保护列为一项基本国策并制定了一系列方针政策；在管理上，我们不断总结经验，加强制度建设，强化监督管理，正在建立环境保护工作的新秩序；在科学技术上，关键是要抓好两头，一头是集中财力物力和人力，围绕解决经济建设和社会发展中迫切需要解决的环境问题的关键性技术课题，认真开展科研攻关；另一头是大力开发和普遍推广效益好、见效快、适用性强的治理污染的技术成果，提高广大环境保护工作人员的业务水平和技术素质，帮助广大企业包括乡镇企业加速实现环境保护的技术进步。这是密切科技和生产的结合，迅速提高我国防治污染水平的重要途径。

十多年来，我国各科研院所、高等院校、设计单位以及工业、地区的专业部门在污染防治、环境工程技术等方面取得了许多科技成果，积累了不少经验。把这些科技成果和经验加以归纳总结使多数人掌握，可以避免环保科研工作在一水平上的重复劳动。把国内科技研究同引进先进技术有效地结合起来，有利于加速对引进技术的消化、吸收和创新。

鉴于科学技术的重要性和交流、总结经验的迫切性，国家环境保护局科技司和国家环境保护局环境工程协调委员会组织编写了这套《环境工程治理技术丛书》，在编写的体例上既不同于一般的科研成果报告，又不同于一般的教科书，

而是突出应用性和经验的总结。

本套丛书的编辑委员会承担了组织选题、编写和审稿等具体工作。丛书的内容有单元技术和设备、处理工艺技术和环境污染区域综合防治；废水、废气、废渣的处理与利用和环境影响评价等。在治理技术的编写中，一般包括国内外的技术进展，工艺技术的特点和原理，设计计算和实例介绍与分析，其中有的还包括作者对一些技术问题的讨论和看法。承担编写和审稿的同志大都是多年在第一线上从事这方面工作的专家。本套丛书共几十本，计划分批付印出版。

虽然我们力图使本套丛书深入浅出，图文并茂，具有科学性、实用性和先进性，但由于篇幅所限，每个问题的论述不可能面面俱到，加之从编写到编辑出版时间较紧，而科学技术本身又在不断发展，所以丛书中的缺点和错误在所难免，希望得到读者批评指正。

张崇华

1990年4月

目 录

第一章	厌氧处理技术的发展	(1)
第一节	厌氧生物处理技术	(1)
第二节	厌氧处理技术的发展	(2)
第三节	有机废水厌氧处理是环境保护的重要课题	(5)
第二章	厌氧处理工艺比较与能耗分析	(7)
第一节	有机废水厌氧处理的特点	(7)
第二节	厌氧处理有机废水的优缺点	(14)
第三节	厌氧处理产气量的估算	(16)
第四节	有机废水处理的能耗分析	(20)
第五节	几种厌氧处理工艺的比较	(22)
第六节	根据废水的水质特性来选择厌氧处理工艺	(31)
第七节	厌氧-好氧生物处理工艺	(33)
第三章	厌氧处理过程及影响因素	(38)
第一节	厌氧发酵的过程及速度限制	(38)
第二节	各种影响因素	(42)
第三节	主要控制条件	(43)
第四章	厌氧生物处理工艺和设备	(60)
第一节	传统消化池与厌氧接触消化工艺	(60)
第二节	上流式厌氧污泥床反应器	(68)
第三节	厌氧过滤器	(119)
第四节	厌氧复合床反应器	(139)
第五节	厌氧流化床	(145)
第六节	两相厌氧消化工艺	(150)
第七节	其他厌氧处理工艺	(163)

第五章	高浓度有机废水厌氧处理	(172)
第一节	酒精、溶剂生产废水处理	(172)
第二节	淀粉生产废水处理	(190)
第三节	柠檬酸生产废水处理	(197)
第四节	合成脂肪酸废水处理	(198)
第五节	苧麻与剑麻加工废水处理	(201)
第六节	豆制品废水处理	(207)
第七节	味精废水处理	(211)
第八节	醋酸生产废水处理	(216)
第九节	漂炼废水厌氧处理	(220)
第十节	造纸废水厌氧处理试验研究	(221)
第六章	沼气的性质及安全问题	(229)
第一节	沼气的性质	(229)
第二节	安全问题	(231)
第三节	消除静电的措施	(233)
参考资料		(234)

第一章 厌氧处理技术的发展

第一节 厌氧生物处理技术

厌氧处理是废水生物处理技术的一种方法。利用微生物的生命活动过程把废水中的有机物转化成简单的无机物，称为生物处理。根据微生物对氧的需要及转化的环境条件，可将微生物分为好氧微生物、厌氧微生物与兼性微生物，废水生物处理技术亦相应地分为好氧处理、厌氧处理与兼氧处理技术。

好氧处理是在不断供氧的环境中，利用好氧微生物的生命活动来氧化有机物，其产物是二氧化碳、水、合成新细胞（产生剩余污泥）及能量（释放在水中）。厌氧处理是在无氧气的环境中，利用厌氧微生物的生命活动，将各种有机物转化成甲烷、二氧化碳等的过程，细胞合成及产生的能量很少，由于其主要产物是甲烷，因此也称为甲烷发酵或沼气发酵。

兼氧处理亦是近年来发展起来的生物处理技术，一般不供氧，其微生物在溶解氧为 $0\sim 0.3\text{mg/L}$ 左右的缺氧条件下进行生物反应，利用这种处理方法的如兼性氧化塘处理技术，¹²厌氧、好氧脱氮除磷技术等。应当说明的是脱氮除磷技术中的厌氧处理并不是甲烷发酵过程，而是在缺氧状态下的兼氧处理过程，在这个流程中，一般由厌氧（Anatrobic）或缺氧（Anoxic）与好氧（Oxic）两个或是三个生物反应过

程组成的污水生物处理系统，因此，近年来将这种厌氧-好氧生物脱氮除磷技术称为 A/O 系统，A·A/O 系统或 A²/O 系统。

本书将主要论述有机废水、特别是高浓度有机废水的厌氧处理技术。

第二节 厌氧处理技术的发展

厌氧处理技术在城市污泥处理方面的应用已约有100a的历史，曾有过两次发展高潮。第一次高潮是在二次大战后的50年代初期，由于一些发达国家工业发展高度集中，城市人口急剧增加，环境污染日趋严重，为了摆脱困境，在世界范围内兴起了应用厌氧发酵技术的高潮，如日本、美国、法国、德国、英国、苏联都相应建立了一些规模较大的污水处理厂，厌氧发酵广泛地用于处理污水污泥。这时厌氧处理只限于对有机污染在 COD 10000mg/L 以上范围内的废水和粪尿或者悬浮物含量在 2~7% 以下的污泥处理，所采用的工艺主要是标准（传统的）厌氧处理装置。

1950 年，Morgan 和 Torpty 的研究证明了机械搅拌不仅可以去除消化池表面的浮渣，而且可以增加细菌（厌氧污泥）和污水之间的接触反应，从而提高了厌氧处理的效率。同年，Stander 注意到，菌种保留在消化池的重要性，并在厌氧“澄清消化池”中证实了这一点。1951 年，Fnller 第一次报道了厌氧接触消化池工艺的半生产性试验研究，1955 年，Schroepfer 和他的同事根据类似的概念提出了厌氧接触消化工艺，并将这种工艺用于食品工厂的废水（料）处理。在这次高潮中，传统消化池中增设机械搅拌装置与厌氧接触消

化工艺的开发是厌氧技术发展的代表。我国西安污水厂的污泥消化池、南阳酒精厂沼气池等就是在这次高潮中诞生的。

由于能源危机与能源价格猛涨，近十多年是厌氧发酵技术发展的第二个高潮。60年代末，美国Mc Carty发展了厌氧过滤器技术，使厌氧工艺能适用于低浓度的有机废水处理，70年代初荷兰 Lettinga 等开发了上流式厌氧污泥床(UASB)工艺，随后相继出现了一些处理新工艺，厌氧处理有机负荷达到 $20\sim 30\text{kg COD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 以上。

人们将50年代发展的消化器称为第一代厌氧装置，以传统消化池为代表，将近十多年开发的新工艺称为第二代厌氧发酵装置。实践证明第二代厌氧装置处理废水的效率明显优于传统消化池。新工艺有厌氧接触消化池，厌氧过滤器、上流式厌氧污泥床反应器，厌氧澄清消化池、厌氧生物流化床(膨胀床)、厌氧生物转盘等，最近 Lettinga 又报道了颗粒污泥膨胀床反应器(EGSB)。在生产中应用较多的是前四种。其处理工艺见图1。

表1是几种厌氧工艺试验和生产应用的一些资料。从表中可以看出，在有机负荷方面，一些新工艺的处理能力与传统消化器相比较有了显著提高，特别是上流式厌氧污泥床工艺取得了突出的成绩。从目前情况看，好氧纯氧生物流化床、深井曝气是实际应用的好氧处理中最高效工艺，其负荷约为 $10\text{kg COD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ，COD去除率70~80%，而上流式厌氧污泥床反应器可以达到 $15\text{kg COD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 以上，COD去除率大于90%，特别在反应器中形成了颗粒污泥以后，其负荷与稳定性更好，可达 $30\sim 50\text{kg COD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 以上。其COD去除率仍然可达90%左右，许多指标大大超过了好氧处理工艺。

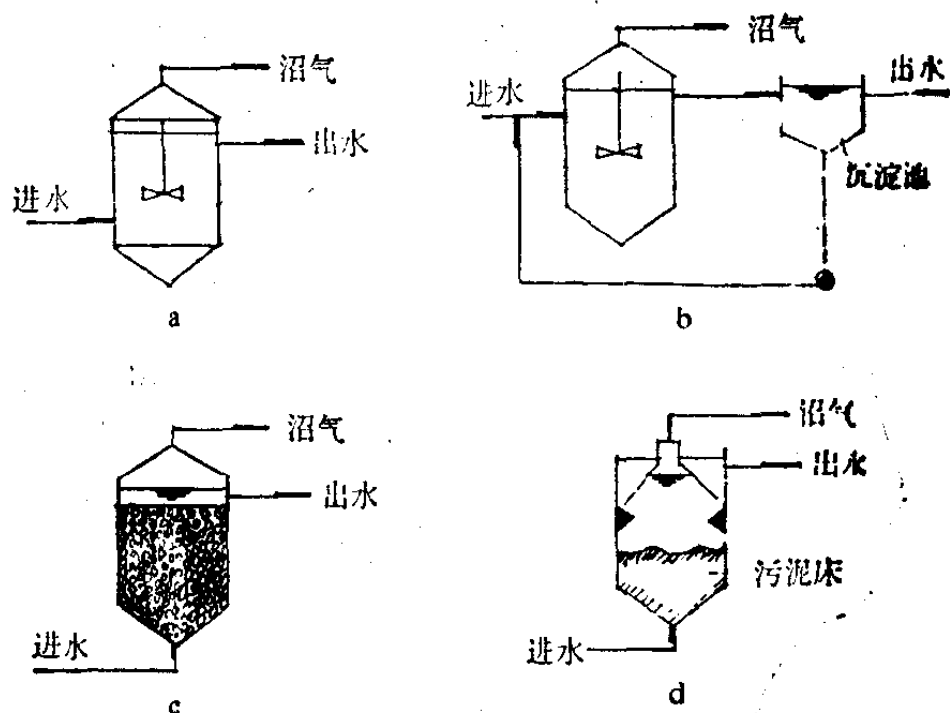


图 1 几种厌氧处理工艺的示意图
 a. 普通消化池 b. 厌氧接触工艺
 c. 厌氧过滤器 d. 上流式厌氧污泥床反应器

经过这个阶段的发展，国内外厌氧生物处理技术获得了很大进步，厌氧处理已成为一种高效工艺，人们将厌氧消化技术应用于高、中、低浓度的有机废水处理，在中温、高温及常温下皆获得了满意的处理效果，不仅处理人们生活中废弃的有机物，而且处理工业生产中的有机物，厌氧生物处理技术向更加纵深方面和更加广阔的领域发展，其应用范围越来越广，处理有机物的种类越来越多。同时，厌氧处理技术和处理装置在向高效率、低成本、多用途方面发展，基础理论研究也在逐步深入、更加系统和完善。

在有机废水处理方面，厌氧处理技术已展现出广泛应用的前景。

表 1 厌氧工艺的运行资料

工 艺	污水类型	负荷[BOD 或CODkg/ (m ³ .d)]	水力停留 时间 (h)	温度 (℃)	去除率 (%)	规 模
普通消化池	甘蔗糖	0.62(BOD)	96	37	60	半生产性
	酵母	1.70(“)	93	35	70	生产性
接触消化池	肉类加工	3.20(“)	12	30	95	半生产性
	肉类加工	2.50(“)	13.3	35	90	生产性
上流式过滤器	合成污水	1.00	—	25	90	} 试验室
	食品加工	1.60	83	35	86	
	制药厂污水	3.50	48	35	98	
	合成污水	2.50	96	35	92	
	胍胶 (Guar Gum)	7.40	24	37	60	生产性
澄清消化池	蒸馏液	3.20		35	99.6	生产性
上流式厌氧 污泥床	糖厂	22.50	6	30	94	半生产性
	糖厂	15.00	6.8	30	91	生产性
	土豆加工	25~45	4	35	93	半生产性
	甜菜污水	16.0	4	37	88	生产性

第三节 有机废水厌氧处理是 环境保护的重要课题

据统计,全国仅造纸、皮革、制糖、酒精、合成脂肪酸等行业每年排放的 BOD 达 130 万 t。食品工业废水、废弃物数量巨大,如每年排放的酒精工业高浓度有机废水约 1200 万 t,味精工业废水 250~400 万 t,柠檬酸工业废水 110 万 t,淀粉工业废水 1600 万 t,这些高浓度的有机废水,含有大量的碳水化合物、脂肪、蛋白质、纤维素等有机物。

根据中央和地方环境保护监测部门对水域的监测结果表

明，当前水体污染主要是有机污染、营养素污染和生物污染。近几年来，这些污染呈上升趋势，对水体、饮用水源地和人体健康已造成很大危害。因此，有机废水的治理已成为环境保护的重要课题。

我们现在所处的条件是：能源昂贵、土地价格剧增、剩余污泥的处理费用越来越高。因此，厌氧处理能将污染环境的有机物转变成使用方便的沼气能、工艺能耗低、污泥生成量少的突出特点越来越受到人们的广泛重视。这种处理方法对于低浓度有机废（污）水，是一种高效省能的处理工艺；用于处理高浓度有机废水，不仅是一种省能的治理污染手段，而且是一种产能方式，人们将这种污水处理方法称为产能的污水处理（Energyplus Waste Water Treatment）。同时还有促进生态良性循环的功能。它的综合效益表现在环境、能源、生态三个方面。特别是目前在世界范围内由于环境污染严重、能源短缺、土地贫瘠化等问题，众多国家和世界机构对厌氧消化技术寄以莫大关注，仅联合国系统和国际组织就有数十个机构从事研究沼气发酵厌氧处理技术。

第二章 厌氧处理工艺比较与能耗分析

第一节 有机废水厌氧处理的特点

一、常温下高速厌氧发酵的可能性

长期以来,污水、污泥厌氧发酵按发酵温度的不同,分为中温发酵($35\sim 37^{\circ}\text{C}$)和高温发酵($52\sim 55^{\circ}\text{C}$),而很少应用常温发酵($15\sim 25^{\circ}\text{C}$),其原因是过去的一些厌氧发酵工艺在常温下发酵速度相当低。因此,在发酵之前需把废水加热。在无余热利用的地方,往往需消耗大量的沼气,甚至需要从外部加入能量。若要把废水水温升高 10°C ,需要把降解 $\text{COD } 6000\text{mg/L}$ 所产生的甲烷用来加热,换句话说只有当废水 $\text{COD} > 6000\text{mg/L}$ 时,所产生的甲烷才能满足废水加热 10°C 对热量的需求。这也是长期以来厌氧发酵很少用于废水的 COD 浓度小于 10000mg/L 的原因之一。

因此,必须研究在常温下污水高速厌氧发酵的可能性,特别对于浓度不高的污废水更是如此。综合国内外的资料可以看出,对于厌氧过滤器和厌氧污泥床反应器等工艺,在常温下也可以承受高的有机负荷和获得较高的去除率。例如,北京市环境保护科学研究所(以下简称北京环保所)采用上流式污泥床反应器处理肉联厂废水时,当发酵温度为 $20\sim 26^{\circ}\text{C}$ 时,设备的体积有机负荷可以达到 $6\sim 9\text{kgCOD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$, COD 去除率大于70%。用厌氧流化床处理乳制品废水,温度为 24°C 时,其 COD 去除率只比 35°C 时约低10%。这些

设备之所以在常温下具有较高的处理能力,主要原因是在单位设备体积内保持高的厌氧活性污泥量。

常温厌氧发酵不仅可以节约能量,而且可以简化设备、减少投资和便利运行管理。可以说,目前研究工作的重要动向之一是开发常温和低温下高效的厌氧发酵工艺,在这方面已获得一些可喜的进展。例如 Lettinga 等人发现在处理低浓度有机废水时,水温降至 12℃,并未对有机负荷和 COD 去除率产生显著的影响。

二、污泥的絮凝沉淀性能

目前,对厌氧反应器中微生物方面的研究多从“微生物群体”概念出发,如污泥絮凝、污泥活性、污泥的停留时间(SRT)、污泥负荷等,这些都脱离了与微生物个体和种类的直接关系,微生物群体(即污泥)的规律性是所组成的各种微生物规律性的综合效应,主要依赖于优势菌的特性作用。

(一) 污泥的絮凝作用

在污水处理中,细菌的主要存在形态是菌胶团。根据最近的研究,菌胶团的形成并非完全由某些细菌所具有的粘液粘连而成,在电镜下可以看到,在菌胶团里某些细菌具有粘液,而大部分细菌不具有粘液。粘液紧贴在细菌细胞的表面,而细菌之间则充满胞外聚合物细纤维,在数量上后者比粘液多得多。

(二) 微生物群体的基本形态

厌氧微生物在处理设备内的基本形态是菌胶团,在静止或水流很低的情况下菌胶团进一步絮凝形成絮体,这种絮体称为活性污泥。当菌胶团附着在填料的表面,通过絮凝和发展而形成密度较大的生物膜。因此,也可以说,厌氧微生物

群体在反应器内有两种形态，活性污泥和生物膜，它们都是由菌胶团发展而形成的，故作为基本形态仍是菌胶团。活性污泥和生物膜在本质上没有什么差别。

(三) 厌氧污泥的沉淀性能

与好氧生物处理一样，厌氧活性污泥的沉淀性能也是以污泥指数 (SVI) 来衡量的。即一克污泥固体经过半小时静置沉淀后所占体积的毫升数，单位为 ml/gMLSS。

其测定方法是：用 100ml 量筒从厌氧装置中取出 100ml 混合液，静置沉淀 30min 后，记下污泥体积的毫升数，把样品送去测定混合液中的悬浮物量，SVI 按下式计算（亦可根据污泥的沉降比与污泥浓度进行计算）：

$$\text{SVI} = \frac{\text{污泥沉淀 30min 后的体积毫升数}}{100\text{ml 混合液中所含的悬浮物的克数}} \\ \left(= \frac{\text{SV}\% \times 10}{\text{MLSS}} \right)$$

式中：SV%——污泥沉降比 100ml 混合液静置 30min 后污泥沉淀体积的毫升数用百分比表示，即为污泥沉降比。

MLSS——混合液悬浮固体浓度（即污泥浓度），单位：g/L。

污泥的SVI 数值越小，其污泥的沉降性能越好。接触消化池的污泥指数一般为 50ml/g 左右；上流式厌氧污泥床的污泥指数一般为 10~30ml/g，颗粒污泥的SVI 一般在 10ml/g 左右，反应器上部的污泥SVI 较污泥床 高一些，一般为 15~30ml/g 左右，视反应器不同而异。Lettinga 认为，在 UASB 中，SVI 为 15~20ml/g 时，污泥就具有良好的沉淀性能。