

文章编号: 1673 - 1212 (2007) 10 - 0094 - 03

城市污水厌氧处理技术研究进展

谭超, 张军, 何容信, 盖超

(盘锦市环境保护监测站, 辽宁 盘锦 124010)

摘 要: 通过介绍厌氧处理技术在城市污水处理中的现状及研究焦点, 论述了以微生物固定化和提高污泥与污水混合效率为基础的一系列高速厌氧反应器的特点, 分别阐述了升流式厌氧污泥床、折流式厌氧反应器、内循环厌氧反应器及颗粒污泥膨胀床反应器的研究进展, 提出高效率的厌氧处理系统应满足的条件, 并与好氧处理技术作了对比, 综述了新型反应器的研制及其组合工艺的应用在废水处理领域所发挥的重要作用。

关键词: 厌氧; 内循环; 厌氧反应器; 生物反应器

中图分类号: X703.1

文献标识码: A

Progress in Anaerobic Technology for Urban Sewage Treatment

Tan Chao, Zhang Jun, He Rongxin, Gai Chao

(Panjin Environmental Protection Monitoring Station, Panjin 124010, China)

Abstract: This article introduces the applications of anaerobic technology to urban sewage treatment, makes comparison with aerobic treatment and points out its prospect. It also sets forth the research focus of the technology as well as the progress in developing reactors.

Key words: anaerobic technology; anaerobic reactor; biological reactor

随着中国经济发展和城镇建设步伐的加快, 城镇人口迅速增长, 生产、生活用水量急剧增加。根据预测, 到 2050 年, 中国城市需水量将达到 2070 亿 m^3 , 同时城市将增加 850 亿 m^3 的污水排放量, 污水排放量将高达 1200 亿 m^3 。城市污水排放量的大幅度增加势必将对水体环境质量造成严重的威胁。因此, 中国目前迫切需要一种简单有效、投资少、运行费用低的污水处理技术来解决水体环境质量的日益恶化问题。

1 城镇污水厌氧处理研究现状

70 年代起, 污水厌氧处理技术迅速发展起来。在传统厌氧接触法 (AC) 技术基础上, 出现了厌氧生物滤池 (AF)、升流式厌氧污泥床 (UASB)、厌氧膨胀床 (AEBC)、厌氧流化床 (AFBR)、厌氧生物转盘 (ARBC)、厌氧挡板反应器 (AFR) 以及厌氧复合反应器 (AHR) 等第二代高效厌氧反应器, 在各类工业废水及城镇污水处理中得到广泛应用^[1]。

与好氧处理相比, 厌氧处理的优势在于: (1) 不需要供氧, 节省操作费用; (2) 污泥产生量比好氧过程少 3~20 倍, 污泥易处理; (3) 投资少, 容易维护等。 (4) 有机负荷高, 适用于高浓度废水的处理; (5) 要求进水水温范围较广, 高中常温均可。 (6) 厌氧过程产生沼气, 使贮存在有机物中的能量得到回收。

随着高效厌氧反应器的发展, 大规模厌氧污水处理厂逐年增加。将厌氧技术用于城镇污水处理目前主要有两条途径, 一条是采用厌氧酸化 (水解) — 好氧处理技术。厌氧水解酸化可以将不溶性有机物水解为溶解性有机物, 并有可能将难降解的物质改变其化学结构, 从而有利于后续的好氧处理。该技术还是以好氧处理为主, 厌氧水解作为预处理是为了提高好氧阶段的处理效果。另一条途径是利用厌氧技术为主的工艺。中国未来几年, 厌氧加好氧技术将在工业污水城镇处理中得到广泛应用, 特别是在广大的南方地区将成为最主要的城镇污水处理技术。

高效率的厌氧处理系统应满足以下 2 个条件:

(1) 系统内能够保留大量的活性厌氧污泥。 (2) 反应器进水应与污泥保持良好的接触。早期开发的厌氧滤池、升流式厌氧污泥床反应器等高速厌氧反应器内积累了高浓度的活性厌氧污泥, 但是这些反应

收稿日期: 2007 - 05 - 10

作者简介: 谭超 (1973 -), 男, 辽宁盘锦人, 就职于盘锦市环保局, 工程师, 主要从事环境保护监测及污染处理技术研究等工作。

器都不同程度地存在死角,并不能很好地满足第 2 个条件。为此,人们开发了 IC 反应器、EGSB 反应器等新一代高速厌氧反应器,较好地改善了废水与污泥的接触。在这些反应器中即使底物浓度相对较低,仍然可以维持相当高的底物利用率,这对于处理像城镇污水这样的废水来说是令人鼓舞的信息。可以预见,如何使污泥与进水之间保持充分的接触,最大限度地利用反应器内的活性厌氧污泥,将是高速厌氧反应器今后发展的一个主要方向。

厌氧工艺处理城镇污水的两大关键问题是浓度和温度,城镇污水是典型的常温低浓度废水,在以往的处理中好氧技术占据了统治地位。但近年来越来越多的研究及应用证明,厌氧技术用于城镇污水的处理是完全可行的。城镇污水处理传统上以好氧法为主,但其动力费用高、能耗大。中国的厌氧工艺和机理与世界水平差距很小基本处于同一水平。但在培养高生能的颗粒污泥、三相分离器的设计等方面还比较落后,因此将研究成果转化成生产技术这一环节仍需花很大精力,还需要广大科技工作者不断努力。目前厌氧技术在城镇污水处理的应用在国外已经很成熟,国产化过程也基本完成,中国近 20 年,废水的厌氧消化技术取得了巨大的进展,厌氧加好氧技术将在城镇污水处理中得到广泛应用,特别是在广大的南方地区将成为最主要的城镇污水处理技术。

2 研究焦点

随着微生物学、生物化学等学科的发展,人们对厌氧生物处理技术的研究不断深入,推动了以微生物固定化和提高污泥与污水混合效率为基础的一系列高速厌氧反应器 (high - rate anaerobic reactor) 的研究和发展。如升流式厌氧污泥床 (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, 以下简称 UASB) 反应器、折流式厌氧反应器 (Anaerobic Baffled Reactor, 以下简称 ABR)、内循环 (Internal Circulation, 以下简称 IC) 厌氧反应器及颗粒污泥膨胀床 (Expanded Granular Sludge Bed, 以下简称 EGSB) 反应器等。高速厌氧反应器的出现推动了厌氧处理技术在高浓度有机废水处理领域的进一步发展,并且这类反应器在低浓度有机废水的处理方面也表现出巨大的发展潜力。现代高速厌氧工艺的出现使城市污水的厌氧处理重新成为人们的关注点。

目前厌氧技术的一个挑战就是将其用于低温 (< 20) 处理低浓度废水 ($COD < 1000 \text{ mg/L}$)。低浓度废水包括酒精厂、饮料厂、水果和蔬菜罐头厂、啤酒厂、造纸工业等工业废水以及城市生活污水。若将其加热到中温消化,治理费用将大大增加。

因此,直接在低温下厌氧处理低浓度废水,无疑是一种很有吸引力的技术,尤其对于发展中国家。在 1997 年第 8 届国际厌氧会议上有研究者将生活污水 (典型的低浓度有机废水) 的厌氧处理列为厌氧技术发展的一个新领域。由于低浓废水的排放量比较大,对其进行加热和保温能耗也较高,所以目前对低浓废水厌氧处理的研究,大多注重中低温下厌氧反应器的运行性能。

3 几种反应器的研究进展

3.1 上流式厌氧污泥床

UASB 反应器是由荷兰的 Lettinga 等人在 20 世纪 70 年代开发的,该反应器主体部分由反应区和气、液、固三相分离区组成。在反应区下部是大量具有良好沉降性能与生物活性的厌氧颗粒污泥所形成的污泥床,在污泥床上部是浓度较低的悬浮污泥层。待处理废水从污泥床底部进入后与污泥接触,微生物分解废水中的有机物产生沼气,气、水、泥的混合液上升至三相分离器内,气体首先进入集气室被分离,污泥和水进入沉降室,在重力作用下泥、水分离,污泥沿斜壁返回反应区,上清液从沉淀区上部排走。

上流式厌氧污泥床 (UASB) 的特点是: (1) 反应器中污泥呈颗粒状,生物固体浓度高,平均污泥浓度为 $20 \sim 40 \text{ gVSS/L}$ 。(2) 有机负荷高,水力停留时间短,中温下一般为 $10 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。(3) 无需载体,节省造价,避免因填料引起的阻塞问题。UASB 在工业废水处理中应用最广泛,用于城市废水处理有广阔的发展前途。

UASB 反应器已成功地应用于处理多种不同成分、浓度的污水。目前 UASB 已成为应用最为广泛的厌氧反应器。对于使用 UASB 反应器处理城镇污水的研究最早是由 Lettinga 等人在 1979 年开始进行的,当时平均去除率分别为 70% 和 80%。现在,在用低浓度城镇污水为进水,在 20 的条件下,60d 内成功地启动了反应器,稳定运行时的温度变化范围为 $6 \sim 32$,而相应的 COD、BOD 的去除率分别为 38% ~ 90%、47% ~ 91%。

UASB 反应器已被证明能够有效去除生活污水中的有机物,但其去除氮、磷等营养物的效果相对较差,只能除去部分病原微生物,而且出水常有气味。出水水质达不到传统二级处理工艺的标准,所以 UASB 反应器的出水一般还需进行后续处理才能达标排放。目前实际应用中的后续处理主要使用厌氧滤池 (AF)、浸没曝气式生物滤池 (简称 SAB)、溶气气浮 (简称 DAF)、综合塘系统 (简称 IPS) 等工艺。

并且得到了满意的处理效果。

3.2 内循环厌氧反应器

荷兰 PAQUES 公司在 1985 年初建造了世界上第一个 IC 中试反应器。该反应器由 2 个厌氧反应区叠加而成,每个厌氧反应区的顶部都安装了气、液、固三相分离器,在结构上如同 2 个 UASB 反应器的上下重叠串联。底部的厌氧区为高负荷区,废水通过配水系统进入这一区后与颗粒污泥充分混合,大部分的有机物经微生物作用转化为沼气,产生的沼气在集气室被收集后通过提升管上升,混合液在气提作用下同时上升。在反应器顶部,沼气被排出,混合液顺回流管返回底部厌氧区,实现了出水的内循环。反应器上部的厌氧区为低负荷区,废水在这里得到进一步的处理。IC 反应器相当于两级 UASB 工艺的串联运行,出水水质较为稳定,处理效果也较好。其特点是在一个高的反应器中将沼气的分离分为两个阶段,利用气体造成内部循环,(底部厌氧区为 10~20 m/h,上部厌氧区为 2~10 m/h)可以采用更高的有机负荷获得更高的去除率,因此可以在较短的水力停留时间内处理低浓度废水。目前有关 IC 反应器的研究报道相对较少,现阶段使用稍多的领域是用于中浓度啤酒废水的处理。但可以预见,作为新型高速厌氧反应器,其在城镇污水处理领域同样会有很大的发展。

3.3 厌氧颗粒污泥膨胀床

厌氧颗粒污泥膨胀床 (EGSB) 反应器是 Wageningen 农业大学在 20 世纪 80 年代后期开始研究的新型厌氧反应器。该反应器与 UASB 反应器结构相似,但具有较大的高径比,并采用较高的处理水回流率,使反应器内保持较高的水流上升速度 (3~10 m/h),颗粒污泥在反应器内处于悬浮状态,避免了在低温和低基质浓度的情况下,由于产气相对较少造成的局部短流和酸化现象。污泥与进水之间的接触更为充分,从而可以获得较好的处理效率。EGSB 反应器可以广泛用于处理各种不同浓度和成分的污水,尤其适合于处理低温 (10℃) 低质量浓度 (远小于 1000 mg/L) 的污水。这一点对于北方地区的污水处理技术研究有着特殊的意义。

3.4 折流式厌氧反应器

折流式厌氧反应器 (ABR) 是 Bachmann 和 McCarty 等人于 1982 年前后提出的一种新型厌氧反应器。反应器内垂直于水流方向设置导流板,将反应器分隔为串联的几个反应室,每个反应室都是一个相对独立的上流式污泥床系统,其中的污泥以颗

粒化形式或絮状形式存在。水流由导流板引导上下折流前进,逐个通过反应室内的污泥床层,进水中的有机污染物与厌氧微生物充分接触而得以降解去除。与 UASB 反应器相比,折流式厌氧反应器具有以下优点:耐冲击负荷 (水力负荷与有机负荷);反应器内微生物停留时间更长;剩余污泥产生量更少;适应环境条件 (pH, 温度等) 变化的能力更强。通过对采用 ABR 与稳定塘相结合的工艺处理城镇污水进行了探讨,证明这是一项有吸引力的城镇污水处理技术。采用臭氧氧化和溶气气浮法对经 ABR 处理的城市生活污水进行后续处理,整个工艺取得了较好的效果^[2]。

3.5 厌氧膜生物反应器

厌氧膜生物反应器是将微孔膜或超滤膜与厌氧生物反应器结合,膜能将污泥全部截留在反应器内,提高污泥停留时间,使水力停留时间与污泥停留时间完全分离,从而使出水质量提高。Cheng Wen 等^[3]设计的厌氧膜生物反应器,厌氧污泥床上部放置细纤维填料以防止高的水力负荷下污泥洗出。中空纤维膜浸没于反应器顶部。膜材质是聚乙烯,孔径 0.03 μm,过滤面积 0.3 m²。试验污水为清华大学的生活污水。试验温度范围 12~27℃。当温度 <15℃,生物反应器的 COD 去除率 <70%;温度 >20℃,COD 去除率 >85%。而整个膜生物反应器在温度为 12℃,COD 去除率仍可达到 88%。由此可见,低温下采用膜生物反应器可达到稳定的去除效果。

4 结束语

随着厌氧生物处理技术的飞速发展,新型反应器的研制及其组合工艺的应用,将在废水处理领域发挥日益重要的作用。由于出水仍需要后处理才能达到较高的排放标准,且对有毒物质较敏感,初次启动过程缓慢,所以除需进一步研究开发可靠、稳定、简单、费用—效益比更高的相关技术外,还可结合其它废水处理系统,共同构成综合处理系统如厌氧—好氧系统,厌氧—湿地系统等以提高效用。

参考文献:

- [1] 汪洪生. 现代废水厌氧处理应用技术进展 [J]. 污染防治技术, 2002, 15 (3): 15 - 20
- [2] 赵丹. 厌氧折流板反应器 (ABR) 的水动力学及污泥特性 [J]. 环境工程, 2001, 19 (2): 12 - 15
- [3] 黄永恒, 王建站, 文湘华, 等. 折流式厌氧反应器的工艺特性及其运用 [J]. 中国给水排水, 1999, 15 (7): 18 - 20