

文章编号: 1005—8893 (2001) 01—0032—03

# 城市废水厌氧生物处理可行性分析<sup>\*</sup>

郭迎庆

(江苏石油化工学院 机械工程系, 江苏 常州 213016)

**摘要:** 由于厌氧生物处理技术无需曝气设备运行, 因此其运行费用相对好氧生物处理会大大降低, 这就意味着厌氧生物处理能够更广泛地应用于我国城市废水的处理。从微生物过程的基本特征出发, 分析了厌氧处理技术用于城市废水处理的可行性。

**关键词:** 城市废水; 厌氧生物处理; 可行性

中图分类号: X 52

文献标识码: A

随着经济的发展, 城市化进程的加快以及人民生活水平的提高, 城市废水的排放量逐年增加, 水污染状况日趋严重, 已成为经济可持续发展的严重障碍。治理污染, 改善水环境已成为人们的迫切要求, 尤其最近十几年, 各地先后建造了不同规模、不同工艺的污水处理厂, 但总体看来, 由于城市废水的自身特点, 绝大多数污水厂均采用好氧生物处理工艺, 运行费用昂贵, 造成许多城市污水厂建得起、用不起的尴尬局面。厌氧生物处理作为一种既有效、简单又费用低廉的污水处理技术, 把废水的处理和能源的回收利用相结合, 因此, 从微生物过程的基本特征出发, 分析应用厌氧生物处理技术净化城市废水的可行性, 具有一定的现实意义。

## 1 能量的消耗、生成及剩余污泥产量

在好氧微生物对有机物进行分解稳定的过程中, 分子态氧是不可缺少的电子受体, 为保证好氧生物处理的效率和速度, 必须供给充足的氧。无论采用鼓风曝气还是机械曝气, 都需要消耗能量。相反, 厌氧微生物的生命活动不需要外界提供能量, 它们是借有机物的分解所释放的能量生存的, 而且有机物分解放出的大部分能量还将贮存在厌氧分解的最终产物  $\text{CH}_4$  中, 使厌氧分解成为一个生成能量的过程。显然, 厌氧生物处理在节约能耗并能产

生能量这一点上所具备的优越性是减轻污染, 缓解能源短缺, 提高城市污水处理普及率的一个有效途径。

理论和实践均表明, 在好氧生物处理过程中, 约有 70% 转化了的有机物形成了生物细胞体, 根据 1 g 细胞体的氧当量为 1.42 计算, 其剩余污泥产量为 0.5 kgVSS/kgCOD 去除量。而在厌氧生物处理过程中, 被处理的有机物绝大部分转化为气体最终产物, 转化为细胞体的有机物不足 15%, 故剩余污泥量约为 (0.1~0.2) kgVSS/kgCOD 去除量, 仅为好氧生物处理的 (20~40)%。且剩余污泥脱水性能好, 浓缩时可不使用脱水剂, 故剩余污泥处理要容易得多。且厌氧法所产生的污泥高度无机化, 可用作农田肥料或作为新运行的废水处理厂的种泥出售。剩余污泥的处理及处置在整个城市废水处理投资中占有相当大的比例, 据报道, 采用活性污泥法处理城市废水时, 用于污泥处理的费用约占总费用的 (40~50)%。由于资金短缺, 我国在建设城市污水处理厂时往往不能做到同时建设污泥处理设施, 遗留下来的污泥常常造成二次污染。采用厌氧生物处理技术大大减轻了剩余污泥处理处置的负担, 由于城市废水有机物浓度很低, 剩余污泥的绝对量少, 常常会因出水带走少量悬浮固体而无需排放剩余污泥。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2000—11—03

作者简介: 郭迎庆 (1970—), 男, 安徽淮南人, 硕士, 主要从事水处理方面的研究。

## 2 处理能力和处理效率

废水生物处理设施的处理能力常以有机物去除负荷表示, 即  $\text{kgBOD}_5 (\text{COD}) / \text{m}^3 \cdot \text{d}$ , 其处理效率则指有机物去除百分数。在一定的进水浓度下, 这两个参数将决定需要的构筑物容积和可以达到的出水水质, 理想的处理过程应该既有很高的处理能力, 又能达到很高的处理效率。有两种途径可实现此目的: ① 选择应用生长速率快的微生物种群; ② 设法提高微生物的浓度。

好氧微生物的生长速率比厌氧微生物快得多, 这正是在新型厌氧生物反应器问世以前, 好氧生物处理技术在城市废水处理领域中占绝对优势的主要原因。而新型厌氧生物反应器则由于大大提高了其中微生物固体的浓度而使局面有了改观。

新型厌氧生物反应器 (包括厌氧滤池、升流式厌氧污泥床和厌氧流化床) 所具有的共同特点是通过延长生物固体在反应器中停留时间的方法, 使反应器中保持大量的生物固体。根据固体平均停留时间的定义, 可得:

$$SRT = \frac{SS_V \cdot V}{SS_{\text{eff}} \cdot Q + SS_W \cdot Q_W}$$

式中:  $SRT$  ——固体平均停留时间,  $\text{d}$ ;  $SS_V$  ——反应器中固体浓度,  $\text{g}/\text{m}^3$ ;  $V$  ——反应器容积,  $\text{m}^3$ ;  $SS_{\text{eff}}$  ——出水悬浮固体浓度,  $\text{g}/\text{m}^3$ ;  $Q$  ——处理废水流量,  $\text{m}^3/\text{d}$ ;  $SS_W$  ——剩余污泥悬浮固体浓度,  $\text{g}/\text{m}^3$ ;  $Q_W$  ——剩余污泥排放量,  $\text{m}^3/\text{d}$ 。

假设系统中剩余污泥量很少, 甚至可以做到不从系统排放剩余污泥, 则  $Q_W = 0$ , 上式可改写为:

$$SRT = \frac{SS_V \cdot V}{SS_{\text{eff}} \cdot Q} = \frac{SS_V}{SS_{\text{eff}}} \cdot HRT$$

式中:  $HRT$  为水力停留时间,  $HRT = V/Q$ 。由上式可得出如下推论: (1) 当反应器的水力停留时间  $HRT$  维持不变, 出水悬浮固体浓度保持满足环境标准时, 延长  $SRT$  可以使反应器中的固体浓度  $SS_V$  增加。例如, 当  $SRT$  从传统消化池的 20 天左右延长至新型反应器的 200 天时, 反应器中的生物固体浓度将为原有浓度的 10 倍。(2) 当反应器中维持很高的固体浓度, 同时保持出水悬浮固体浓度在很低的标准以下时, 反应器的固体平均停留时间  $SRT$  将远远长于其水力停留时间  $HRT$ , 说明提高污泥浓度的后果正是提高了反应器的处理能力。

新型高速厌氧反应器大多是利用使微生物固定

化的方法延长其在反应器中的停留时间, 只是固定的方法不同而已。在厌氧滤池和厌氧流化床中, 微生物因附着生长在载体表面而得到固定, 在升流式厌氧污泥膨胀床中, 微生物互相粘结缠绕, 形成结构紧密的颗粒, 又因其沉降性能良好而易被截留在反应器中, 是另一种形式的固定。高速厌氧反应器的发展大大提高了厌氧反应器的负荷和处理效率, 使废水在反应器中的停留时间缩短到几小时, 反应器容积得以大大缩小, 从而有利于厌氧技术用于工业化的废水处理。一般新型厌氧反应器的生物固体浓度可达  $(30 \sim 50) \text{ g/L}$  以上, 生物固体平均停留时间可达 200 天甚至更长。采用新型厌氧反应器处理城市废水时, 其有机负荷与一般活性污泥法相当, 约为  $(0.1 \sim 2.0) \text{ kgBOD}_5 / \text{m}^3 \cdot \text{d}$ <sup>[1]</sup>。污泥停留时间的延长与污泥浓度的提高使厌氧系统更具有稳定性, 有效增强了对不良因素 (例如有毒物资) 的适应性, 使厌氧废水处理技术 20 多年来得以迅速推广, 成为水污染防治领域里一项有效的新技术。

应该指出, 好氧生物技术处理城市废水时的有机物去除率比厌氧生物处理要高。活性污泥法的  $\text{BOD}_5$  去除率一般为 90% 以上,  $\text{COD}$  去除率为  $(75 \sim 85)\%$ , 而目前厌氧生物处理法的效率对  $\text{BOD}_5$  约为  $(60 \sim 85)\%$ , 对  $\text{COD}$  则为  $(50 \sim 80)\%$ , 出水水质可达到或略超过允许的排放标准。但理论分析和实践经验表明, 上述处理效率应能再提高, 故采用厌氧生物技术对城市废水进行完全的处理是可能的。

## 3 处理流程的选择

因厌氧微生物具有使悬浮状有机物水解的能力, 多数厌氧生物反应器还能有效地截留悬浮物, 采用厌氧生物技术处理城市废水时, 一般可以只设格栅和沉砂池作预处理, 而不需另设初沉池, 因此使处理流程得以简化。实践中, 在废水厌氧处理之后往往再辅以好氧处理作为其后处理。厌氧与好氧过程相串联的流程, 具有节约投资, 节省能耗, 污泥产量少, 出水水质好等一系列的优点, 但有两个问题值得进一步探讨。

(1) 在串联过程中以厌氧过程还是以好氧过程为主? 若只要求厌氧过程实现对有机物的酸化和水解, 达到  $(30 \sim 50)\%$  的  $\text{COD}$  去除率, 则可认为仍是以好氧过程为主的流程, 只不过是利用厌氧过程

代替了初沉池,并消纳剩余污泥,既可提高好氧处理的效率又可减少系统的产泥量,但此时好氧处理过程的需氧量和耗能量只能有部分的降低,厌氧过程的产气量也不会很高。因此,探询以厌氧为主甚至仅采用厌氧过程的流程是目前国内外研究的主题。应尽可能使厌氧过程达到最大的 COD 去除率,一般约为 (50~80)%,厌氧处理出水的 COD 值,约在 (60~200) mg/L 之间。故后续的好氧处理过程的负担已大大减轻甚至没有必要。此种流程的污泥产量会更少,能耗也得到进一步降低,产气量则较多。

(2) 作为后处理的好氧过程,应尽可能地采用经济有效合理的方法。例如生物氧化塘、土地处理系统、生物滤池等,均是基本上不耗能,又能得到良好去除效果的方法,在受到占地面积或气候条件等因素的限制时,可以考虑采用接触氧化法或活性污泥法等。

## 4 厌氧处理工艺的发展趋势

就目前的应用水平而言,以 UASB 反应器为代表的高速厌氧反应器可处理的废水浓度范围在 (0.5~60) gCOD/L 之间,通常最多使用的温度范围在 (28~38) °C,容积负荷多在 (12~25) kg-COD/(m<sup>3</sup>·d)<sup>[2]</sup>。其所处理的废水污染物以碳水化合物及其降解产物为主,同时毒性物质浓度不足以严重抑制细菌的生长。但最新的发展正在突破以上界限,表现在处理城市废水方面有:(1) 低温下 UASB 反应器的运行。由于厌氧微生物的增长速率会随温度的下降而显著降低(一般温度下降 10 °C,增长速率将下降 50%),若要对体积庞大的城市废水进行加温,无疑会消耗大量的能源,大大削弱厌氧生物处理技术在经济上的优越性。突破低温限

制,使厌氧反应器在 (10~20) °C 的低温下高效运行,使城市废水的厌氧生物处理成为可行。(2) 低浓度废水的厌氧处理。城市废水的有机物浓度较低,COD<sub>cr</sub>一般在 (300~500) mg/L, BOD<sub>5</sub> 一般在 (200~300) mg/L, SS 一般在 300 mg/L 左右, NH<sub>3</sub>-N 一般在 (30~40) mg/L。当废水中有机物浓度很低时,污泥活性也很低,同时由于较高的水力负荷和较低的污泥生长速率,反应器污泥停留时间较短,由于产气量少和有机物浓度低,有机物和污泥间的传质作用较差,反应器负荷受到限制。此外由于甲烷菌的严格厌氧性,稀的有机废水含有的相对多的溶解氧也对厌氧处理产生不利影响。处理低浓度有机废水最重要的进展是膨胀颗粒污泥床反应器(EGSB),运用该反应器处理低浓度有机废水在国内外都有成功的实例。

综上所述:(1) 厌氧生物处理是一种产生能量的过程,与耗能的好氧生物处理相比,具有很大的优越性;(2) 厌氧生物处理过程的污泥生成量可比好氧生物处理过程显著减少,当废水有机物浓度低时,可实现无污泥排放,因此可大大节省污泥处理处置的费用;(3) 采用延长固体停留时间,提高生物固体浓度的方法,可弥补厌氧微生物生长速率慢,受温度影响大的不利后果,提高厌氧处理过程的处理能力和处理效率;(4) 厌氧生物处理技术用于净化城市废水是完全可行的,经济有效的,目前以采用厌氧过程与好氧过程相串联的流程更为现实。

### 参考文献:

- [1] 钱易,米祥友.现代废水处理新技术[M].北京:中国科学技术出版社,1993.202-208.
- [2] 贺延龄.废水的厌氧生物处理[M].北京:中国轻工业出版社,1998.6-7,292-294.

## Analysis of the Feasibility of Anaerobic Biological Treatment of Urban Wastewater

GUO Ying-qing

(Department of Mechanical Engineering, Jiangsu Institute of Petrochemical Technology, Changzhou 213016, China)

**Abstract:** Aerobic aeration device is no more necessary to the anaerobic biological treatment (ABT) process, so the operating expenses of wastewater treatment will be reduced enormously. This means that ABT will be suitable far and wide for urban wastewater treatment in our country. Based on the basic characteristics of microbial process, the feasibility of ABT for urban wastewater is analyzed in this paper.

**Key words:** urban wastewater; anaerobic biological treatment; feasibility