



# 新型厌氧处理新工艺—ASBR 法的研究

叶伟莹<sup>1</sup>, 方战强<sup>1</sup>, 曾宝强<sup>2</sup>

(1. 华南师范大学 化学与环境学院, 广东 广州 510006; 2. 香港教育学院 数社科系, 香港 00852)

**[摘要]**厌氧序批式活性污泥法 (ASBR) 是一种新型的高速厌氧反应器, 它具有耐冲击负荷, 适用范围广等特点。本文论述了 ASBR 的工艺特性、影响因素, 介绍了其中高浓度废水 (如香料废水、食品加工废水等) 和低浓度废水 (如生活污水) 中的应用, 并展望了 ASBR 的应用前景。

**[关键词]**厌氧序批式活性污泥法(ASBR); 影响因素; 应用前景

## New Anaerobic Treatment Technology-ASBR

Ye Weiyang<sup>1</sup>, Fang Zhanqiang<sup>1</sup>, Zeng Baoqiang<sup>2</sup>

(1. School of Chemistry and Environment, South China Normal University, Guangzhou 510006; 2. Department of mathematics, science, social science and technology, Hong Kong Institute of Education, Hong Kong 00852, China)

**Abstract:** Anaerobic sequencing batch reactor (ASBR) is a new type and high rate anaerobic reactor, which has the advantages of being able to bearing high impact loads and having wide range of use. The operating principles and characteristics, the influence factors of ASBR as well as its applications on treating high strength organic wastewater (such as the wastewater of synthetic spice production, and the wastewater from food processing industry) and the wastewater with low concentration (such as the domestic wastewater) are discussed in this paper, so as to forecast its application prospects.

**Keywords:** anaerobic sequencing batch reactor (ASBR); influence factor; application prospects

厌氧序批式反应器 (Anaerobic Sequencing Batch Reactor), 简称 ASBR, 是由美国 Dague 教授及其合作者, 将好氧生物处理的序批式反应器 (SBR) 运用于厌氧处理研究并开发的一种新型厌氧反应器。近年来, 厌氧序批式活性污泥法 (ASBR) 由于具有污泥易颗粒化、沉淀性能好、布水简单、工艺简单、有机负荷高、处理效率高的优点而成为研究热点。

### 1 ASBR 的基本原理

复杂有机物的厌氧消化过程要经历数个阶段, 由不同的细菌群接替完成。第一阶段, 水解和发酵。在这一阶段中复杂有机物在微生物作用下进行水解和发酵, 多糖先水解为单糖, 再通过酵解途径进一步发酵成乙醇和脂肪酸等。蛋白质则先水解

为氨基酸, 再经脱氨基作用产生脂肪酸和氨。第二阶段, 产氢、产乙酸阶段。在产氢产乙酸菌的作用下, 将乙醇和脂肪酸等水溶性小分子转化为乙酸、 $H_2$  和  $CO_2$ 。第三阶段, 同型产乙酸阶段, 同型产乙酸细菌将  $H_2$  和  $CO_2$  转化为乙酸, 该阶段在厌氧消化中的作用目前仍在研究中<sup>[1-2]</sup>。第四阶段, 产甲烷阶段。甲烷细菌把甲酸、乙酸、甲醇、 $H_2$  和  $CO_2$  等基质通过不同的路径转化为甲烷。

ASBR法一般分为四个阶段<sup>[3]</sup>, 即进水期、反应期、沉降期和排水期。进水阶段, 废水进入反应器后, 利用生物气、液体再循环和机械进行搅拌, 进水到预定位置为止; 反应阶段, 废水中的有机物与微生物进行代谢反应转化为生物气而得以去除; 沉降阶段, 停止搅拌, 使生物体在静止的条件下沉降, 固

液分离,形成低悬浮固体含量的上清液,此时反应器变成澄清池;排水阶段,液固分离完成后,上清液排出,进入下一个循环。

## 2 影响因素

### 2.1 进水时间 $t_f$ 与反应时间 $t_R$ 之比

ASBR 工艺是一个非稳定过程,反应器中有机物浓度是时间的函数,COD 值是一个先增大后减少的过程。而反应过程中产生的 VFA 浓度是影响厌氧反应器反应状况的一个重要参数。Kennedy<sup>[4]</sup>研究发现,反应器内 VFA 浓度变化与进水时间/反应时间 ( $t_f/t_R$ ) 密切相关。研究表明,进水时间短时,VFA 会很快降到零,若进水时间长,则 VFA 降低缓慢,这表明  $t_f/t_R$  越小,越有利于反应器的稳定运行。国内学者傅大放和新加坡学者联合研究 ASBR,以人工葡萄糖配水,采用正交试验方法研究影响参数的结果表明<sup>[5]</sup>,进水时间短时,出水 COD 和 VFA 浓度会很快达到稳定值,并可防止 VFA 积累到抑制浓度界限或毒害浓度限。但国内学者李玉瑛等研究表明进水时间长有利于 ASBR 的进行。他们发现当基质浓度超过半饱和常数时反应速率成零级反应,且在 ASBR 中不能以  $COD_{Cr}$  去除率作为唯一指标。快速进水由于产酸菌产生挥发性脂肪酸 VFA 速率高于产甲烷菌消耗有机酸的速率,使反应器中大量积累 VFA,当负荷大于某一值时,甲烷化能力急剧下降。进水时间长,尽管反应速度慢,但中间产物 VFA 的及时消耗有利于 ASBR 顺利进行。可见,进水时间  $t_f$  与反应时间  $t_R$  之比对 ASBR 的影响不同的学者有不同的结论,所以其对 ASBR 的影响有待于进一步研究。

### 2.2 碱度

ASBR运行时要求混合液具有一定的pH缓冲能力,即维持一定的碱度。有两方面原因:一是因为进水碱度对形成的颗粒污泥作用很关键。启动初期颗粒污泥没有形成时,对pH极为敏感,一旦pH低于7.0则产气不活跃。把pH调为7.0~7.5时,产气会明显增加。王亮<sup>[6]</sup>等人在研究用ASBR反应器处理豆制品废水时采用加 $NaHCO_3$ 调节pH,使系统在一定的负荷条件下保持一定的碱度。研究表明,当负荷稳定在 $8\text{ kg/m}^3\cdot\text{d}$ 后,出水VFA可以稳定在 $120\text{ mg/L}$ 以下。这主要是因为污泥颗粒化程度越来越高,嗜乙酸的甲烷菌会立刻把乙酸转化成 $CH_4$ 和 $CO_2$ ,另外 $H_2$ 和 $CO_2$ 会被同型产甲烷菌进一步转化成甲烷,防止了VFA的积累,有利于气体的形成;二是因为在挥发性脂肪酸(VFA)浓度超过 $800\text{ mg/L}$ 时,反应器就面临被“酸化”的危险,需要系统保持一定的碱度。此时应该采取相应的调节措施,实际应用中一般控制pH在 $6.5\sim 7.8$ 之间。另外,在低温时,加入适当碱度能使生物气泡释放出来,使沉降性能变好。因为温度低时混合液粘滞性大,使生物气泡附着于污泥上不容易释放,当附着的气泡聚集得较多时,容易造成污泥上浮。保持足够的碱度<sup>[7]</sup>可使ASBR反应器具有高效降解能力。

### 2.3 温度

ASBR处理有机物是通过不同微生物种群来进行分解的,而微生物的新陈代谢能力及其活性又是与温度息息相关的,因此,温度对ASBR处理效果有显著影响。王志军<sup>[8]</sup>等人分别研究了高温、中温对ASBR处理水解污泥的影响。研究表明中温比高温能提高ASBR的总COD的去除效率和甲烷的产气率,这主要与高温时,ASBR中的微生物种类少、形态单一,以及产甲烷活性低有关。而张文艺<sup>[9]</sup>等人在采用ASBR处理啤酒废水的试验研究中表明,当温度为 $30\sim 40^\circ\text{C}$ 时ASBR 反应器对废水中的 $COD_{Cr}$ 有较高的去除率。这是因为在较高的温度下厌氧菌代谢速度较快,有机物在生物降解时需要的能量较少,因而在高温下反应更容易进行。这也表明了不同的微生物在处理不同的废水时对温度的要求是不同的。另一方面,恒温对保持系统的稳定性有重要作用,不同种群产甲烷菌对生长的温度范围均有严格要求,从而需要保持恒温。不论何种原因导致温度的短期突变,均会对厌氧发酵过程产生明显的影响,高温发酵时最为敏感。

## 3 ASBR 的应用概况

厌氧序批式反应器 ASBR 作为一种新型的高效厌氧反应器具有污泥持留量高、水力停留时间短、处理效率高等优点,不仅可以单独或与其他工艺相结合有效的处理食品加工废水、家畜饲养废水等高浓度废水,还可以应用于处理城市污水和低浓度工业废水。下面介绍 ASBR 工艺在国内外的一些研究应用概况。

### 3.1 ASBR 处理中高浓度废水

一般来说,废水的  $COD_{Cr}$  在  $500\sim 1000\text{ mg/L}$  之间的为中等浓度废水,而废水的  $COD_{Cr}$  大于  $1000\text{ mg/L}$  的为高浓度废水。ASBR 工艺对中高浓度废水的处理具有去除率高(去处率普遍大于  $50\%$ )、处理效果好、污泥量少、运行费用低的特点而受到广泛青睐。

采用 DAF-ASBR 工艺处理香料工业生产中产生的高浓度有机废水(废水的进水  $COD_{Cr}$  为  $16456\sim 78560\text{ mg/L}$ ),废水  $COD_{Cr}$  去除率达到  $98\%$  以上,油类去除率为  $99\%$ 。该工艺具有去除率高、处理效果好、运行费用低的特点,特别对水质水量波动大的香料废水及其它类似的高浓度废水治理有较好的借鉴作用<sup>[10]</sup>。国内学者利用 ASBR-SBR 串联工艺对养殖场废水进行生物处理,养殖废水的进水  $COD_{Cr}$  一般为  $20000\text{ mg/L}$  左右。赵晨红利用 ASBR-SBR 系统对养猪场废水进行生物处理以去除其有机碳和氮,周期为  $24\text{ h}$ 。在 ASBR 反应器中,流入的是原废水和好氧反应器的部分出水回流液,有机碳的厌氧分解伴随着反硝化过程。在好氧反应器中,更多的有机碳被去除。试验表明,循环比  $R$  越高,  $TN$  的去除率越高,最终出水中  $NO_3^- - N$  的浓度越低<sup>[11]</sup>。而李秀金也利用 ASBR-SBR 系统处理牛场高浓度有机污水。ASBR 作为预处理反应器主要用于去除有机物, SBR 用于生物脱氮处理<sup>[12]</sup>。

垃圾渗沥液的 COD 约  $6000\text{ mg/L}$ 。北京工业大学郑晓英等



人进行了 ASBR-SBR 串联工艺处理垃圾渗沥液的试验研究<sup>[13]</sup>。ASBR 和 SBR 的周期均约 24h, 在常温下运行, 结果 ASBR 的 COD 去除率约 50%, SBR 的 COD 去除率为 65%, 总 COD 去除率可达 86.8%, 氨氮去除率可达 83.5%。垃圾渗沥液经过 ASBR 处理后, 其中大部分的难生物降解的有机物被改性为易于生物降解的有机物, 同时 SBR 反应器在静止阶段可进行反硝化作用进行脱氮, 所以 ASBR-SBR 串联反应器对垃圾渗沥液 COD 和氨氮的去除取得了较好的处理效果。王亮, 李凤亭等人采用 ASBR 处理豆制品废水, 废水的进水 COD 为 4500~5300mg/L。结果表明:启动阶段通过投加粉末状活性炭(GAC), 尽快提高有机负荷以及缩短水力停留时间等措施可使系统既快又稳的启动, 试验启动用时 118d; 启动成功后, COD 负荷率为 7.83kg/m<sup>3</sup>·d, COD 去除率 89.7%, 容积产气率 3.9 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·d, 其中甲烷含量 70%, 污泥颗粒化为粒径在 1~3mm 的颗粒污泥, 表明 ASBR 反应器是高效运行的厌氧反应器。张艺文<sup>[9]</sup>等采用 ASBR 处理啤酒废水, 废水的进水 COD 为 2700~3850mg/L。考察了 ASBR 工艺对啤酒废水 COD<sub>Cr</sub> 去除率和产气率的影响。研究表明, ASBR 处理啤酒废水适宜参数为: 温度 30~40℃, pH 7~8, 反应时间 24h, MLSS 5000~5500mg/L。在此工艺参数下连续运行 1 周, COD<sub>Cr</sub>、TSS 去除率分别为 80.9%、74%, 产气率约为 500 L/kg COD<sub>Cr</sub>。应用 ASBR 处理啤酒废水, 能耗低且能产生大量沼气, 耗电仅为 0.3kW·h/m<sup>3</sup>, 节能效益显著。

### 3.2 ASBR处理低浓度废水

ASBR工艺不仅可以用于处理高浓度废水,对于低浓度废水同样适用。美国Lowa州立大学土木工程系 Richard R.Dague 教授等对 ASBR反应器处理低温低浓度的工业废水做了实验室研究<sup>[14]</sup>。进水COD为600mg/L, BOD<sub>5</sub>为285mg/L, HRT 分别为24、12、8、6h。结果表明在所有的HRT下, 25℃和20℃时SCOD和BOD<sub>5</sub>的去除率均可以达到90%; 在最低温度5℃和最短水力停留时间6h条件下, SCOD和BOD<sub>5</sub>的去除率分别为62%和75%。实验表明, 应用ASBR处理低温低浓度废水以降低处理成本是具有一定可行性的。

周春洪, 葛丽英<sup>[15]</sup>等人采用ASBR+SBR工艺进行处理小流量生活污水的试验研究, 该生活污水的COD为250~350mg/L。结果表明, 先通过ASBR反应器对污水起到平衡、均化作用, 再通过SBR 反应器实现污水的脱氮除磷。试验出水COD<sub>Cr</sub>浓度为 21~43mg·L<sup>-1</sup>, 去除率达到85%~93%; 出水NH<sub>3</sub>-N浓度为3.3~9.5mg·L<sup>-1</sup>, 去除率达到65%~81%; 出水TP浓度为0.32~0.63mg·L<sup>-1</sup>, 去除率达到87%~95%。ASBR+SBR工艺处理小城镇生活污水, 达到了国家生活污水排放标准。经过该工艺处理后的出水COD<40mg·L<sup>-1</sup>, BOD<sub>5</sub><20mg·L<sup>-1</sup>, NH<sub>3</sub>-N<5mg·L<sup>-1</sup>, TP<0.5mg·L<sup>-1</sup>。试验表明ASBR反应器对来水的有机污染物负荷、水力负荷、温度、有毒等起到平衡、均化作用, 使污水中污染物经过沉淀、水解酸化性质相对稳定, 能去除部分COD, 节省能耗, 有利于提高后续反应器处理效率。

## 4 展望及建议

ASBR工艺可以广泛应用于处理食品加工废水、家畜饲养废水、造纸废水等高浓度废水, 还可以应用于处理城市污水和低浓度工业废水, 同时可以与其他废水处理工艺结合, 如将在工艺和运行上具相似性的ASBR与SBR工艺串联, ASBR作为预处理反应器主要去除有机物, SBR用于生物除磷脱氮, 并进一步去除有机物, 可高效经济地处理各种低浓度高浓度废水, 在当前条件下可以实现较高自动化水平, 有利于系统的稳定运行, 进一步提高处理效果和效率, 经济有效的达到目标。

作为一种高效厌氧工艺, ASBR适应性较强, 在我国水污染问题严重、能源紧缺的现状下具有良好的开发应用前景。但目前国内外的专家学者对ASBR的研究和应用还只停留在实验室阶段, 对于ASBR的工程应用还需要进一步研究论证。同时, ASBR 还有许多基础研究需要完善。如需要进一步研究ASBR内的质量传递、水力学特征、微生态环境及动力学, 从而为反应器的设计和应用提供基础数据。此外, 尽管高温—中温ASBR工艺以及ASBR与好氧反应器相结合的组合工艺充满吸引力, 但在工业应用上尚需进一步研究。

### 参考文献

- [1]吴婉娥, 葛红光, 张克峰, 等. 废水生物处理技术[Z]. 化学工业出版社, 2003:142-148.
- [2]周群英, 高廷耀. 环境工程微生物学[Z]. 高等教育出版社, 2000:200-208.
- [3]赵立军, 滕登用, 刘金玲, 等. 废水厌氧生物处理技术综述与研究进展. 环境污染治理技术与设备. VOL. 2, No.5. 2001, 10.
- [4]Kennedy J K, Sanchez A W, Hamoda F M, et al. Performance of anaerobic sludge blander sequencing batch reactor. Research J WPCF, 1991, 63(1-2): 75-83.
- [5]傅大放. 厌氧序批式活性污泥工艺 (ASBR) 和特性研究. 中国给水排水, 2000, 16.
- [6]王亮, 李凤亭, 刘华, 等. ASBR反应器处理豆制品废水. 水处理技术, 2005, 31(9):56-60.
- [7]李亚新, 李玉瑛. 厌氧生物处理新工艺-厌氧序批式反应器. 工业用水与废水, 2002, 33(1).
- [8]王治军, 王伟, 高殿森, 等. 高温和中温ASBR处理热水解污泥的对比. 环境科学, 2005, 26(2):88-92.
- [9]张艺文, 翟建平, 李琴, 等. 厌氧序批式反应器(ASBR)处理啤酒废水的试验研究. 给水排水, 2005, 31(12): 61-63.
- [10]郑一新, 王宏, 何跃. DAF-ASBR处理香料废水工艺研究. 给水排水, 2000, 26(11): 43-46.
- [11]赵晨红. ASBR-SBR工艺处理养猪场废水, 重庆环境科学, 2003, 25(4):36-40.
- [12]李秀金, 董仁杰. ASBR-SBR组合反应器用于高浓度有机污水的处理. 中国农业大学学报, 2002, 7(2):110-116.