

# 内循环厌氧反应器处理葡萄糖配水的启动研究

吴 静 陆正禹 胡纪萃 冯 亮 顾夏声

(清华大学环境科学与工程系,北京 100084)

**摘 要:** 内循环(Internal Circulation)厌氧反应器是一种具有容积负荷高、占地少、投资省等突出优点的新型厌氧生物反应器。作者以葡萄糖配水为水样进行了小试试验,探索了内循环厌氧反应器的启动规律。试验结果表明:1. 当反应器的容积负荷达到  $6 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$  时,能够形成不连续内循环,随着容积负荷的提高,循环之间的间隔越来越短,然后为零,此时容积负荷约为  $15 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ;2. 当进水溶解性 COD 为  $8\,000 \sim 11\,000 \text{ mg L}^{-1}$  时,出水溶解性 COD 为  $480 \sim 1\,600 \text{ mg L}^{-1}$ ,水力停留时间约为 5.4 h,容积负荷达到  $31.4 \sim 45.0 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ,内循环良好。

**关键词:** 内循环; 厌氧反应器

**中图分类号:** X703; S215.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 1166(2000)4 - 0016 - 04

**Study on Start-up of Anaerobic Internal Circulation Reactor/** WU Jing; LU Zheng-yu; HU Ji-chui et al/ (Dept. of Environ. Sci. & Eng., Tsinghua University, Beijing, 100084, P. R. China)

**Abstract:** Internal circulation anaerobic reactor is a new high-rate anaerobic reactor with some outstanding characteristics, such as high efficiency, space-saving and low-cost, etc. The writers studied the start-up and running of the reactor with bench-scale test. The experimental results showed that: 1. The discontinued internal circulation was formed when the volumetric loading reached  $6 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$  and with the raising of volumetric loading the intervals between circulations became shorter and shorter, then to zero, at that time the volumetric loading was about  $15 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ; 2. When the influent dissolved COD was  $8\,000 \sim 11\,000 \text{ mg L}^{-1}$ , the effluent dissolved COD was  $480 \sim 1\,600 \text{ mg L}^{-1}$  with hydraulic retention time 5.4 h and the volumetric loading  $31.4 \sim 45.0 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ . Internal circulation well performed

**Keywords:** internal circulation; anaerobic reactor

内循环厌氧反应器(Internal Circulation Anaerobic Reactor)是在 UASB 反应器的基础上发展而来的。其结构如图 1。内循环厌氧反应器的主要特点是反应器内部能够形成流体循环,流体循环使得有机物与颗粒污泥的传质加强,反应器的处理能力得到提高。流体循环依靠沼气在升流管和回流管间引起的密度差形成。该反应器自问世以来成功地处理了土豆加工、啤酒、食品、柠檬酸等废水,反应器高度为 16~25 m,容积负荷是普通升流式厌氧污泥层(Upfolw Anaerobic Sludge Blanket, UASB)反应器的 4 倍左右<sup>[1]</sup>。一般地,处理土豆加工废水时,容积负荷为  $35 \sim 50 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ <sup>[2]</sup>;处

理啤酒废水时,负荷达到  $15 \sim 30 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ <sup>[2~5]</sup>。内循环厌氧反应器还具有占地少等许多引人注目的优点,是一种值得研究的新型反应器。笔者通过试验,研究了内循环厌氧反应器处理人工葡萄糖配水的启动过程。

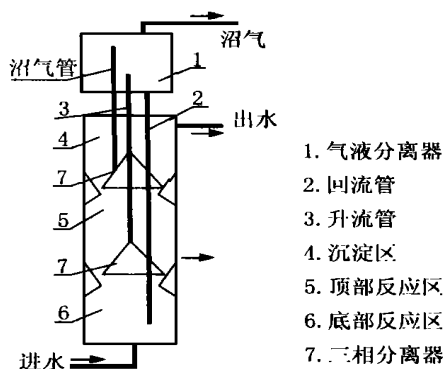


图 1 内循环厌氧反应器结构示意图

项目来源: 国家自然科学基金项目 项目编号: 5937850

收稿日期: 2000 - 07 - 28 修回日期: 2000 - 09 - 10

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

(1) 试验装置:反应器由主体部分和气液分离器组成(见图1)。主体部分分为底部反应区、顶部反应区、沉淀区、升流管和回流管。升流管从底部反应区的三相分离器顶部升入气液分离器,回流管连入反应器底部。整个反应器由有机玻璃制成,反应区内径为102 mm,主体部分高5.0 m,有效容积43.2 L,其中沉淀区5.4 L。反应器主体采用电热毯加热、保温,进水用水浴加热,以维持反应器内水温在30~35℃之间。

(2) 试验用水:人工葡萄糖配水,同时投加尿素、磷酸二氢钾调节COD N P约为150 5 1,采用碳酸氢钠调节进水pH值至7.0左右。

(3) 接种污泥:颗粒污泥取自河北某酒厂处理酒精废水的UASB反应器(容积负荷30 kgCOD  $\text{m}^{-3}\text{d}^{-1}$ ),接种后用人工葡萄糖配水浸泡24 h,然后反应器开始运行。

### 1.2 化学分析项目及方法

COD采用YL-IA型COD速测仪测定;SS采用重量法测量;pH值采用TPX-90i型pH计测定。

## 2 结果与讨论

本文报道的试验历时170 d。试验阶段按照产生内循环的情况分为启动初期(第1 d至33 d)、不连续循环期(第34 d至84 d)和连续循环期(第85 d至170 d)。启动初期的循环现象不明显;不连续循环期能观察到明显的循环现象,但循环不连续;连续循环期有连续循环。图2、3和4分别表示了整个试验期间进出水的溶解性COD变化、容积负荷与溶解性COD去除率的关系以及内循环量(回流量)与容积负荷的关系。

### 2.1 内循环与COD去除情况

#### 2.1.1 启动初期(第1 d至33 d)

反应器以3 kgCOD  $\cdot\text{m}^{-3}\text{d}^{-1}$ 的容积负荷启动,进水溶解性COD约3000 mg  $\text{L}^{-1}$ ,流量

48  $\text{L}\cdot\text{d}^{-1}$ ,表面水力负荷0.25  $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ,水力停留时间21.6 h。在启动初期的开始一段时间,颗粒污泥处于适应和驯化,再加之反应器的保温措施不够及时和有效,反应器的溶解性COD去除率一直不高,仅27.8%~55.6%,且波动较大。为增强有机物质和污泥间的传质,第15 d后改为进水溶解性COD约1500 mg  $\text{L}^{-1}$ ,流量96  $\text{L}\cdot\text{d}^{-1}$ ,表面水力负荷为0.50  $\text{m}^3\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$ ,水力停留时间为10.8 h,容积负荷不变,这段时间溶解性COD去除率都维持在53%~60%间,波动较小。

此阶段未观察到明显的循环现象。

#### 2.1.2 不连续循环期(34 d至84 d)

不连续循环是内循环反应器启动的关键,而内循环的形成与产气量直接相关。考虑到污泥已经过了一段时间的适应与驯化,所以反应器的容积负荷直接提升到6 kgCOD  $\cdot\text{m}^{-3}\text{d}^{-1}$ 左右,进水溶解性COD为2400~3200 mg  $\text{L}^{-1}$ ,水力停留时间约10.8 h。几乎与提高容积负荷同时,就观察到不连续的内循环现象,循环时间不固定,但下午观察到的次数多,现象明显,而早晚两次配水后都有一段观察不到循环。出现这种情况的原因可能是产气量的变化引起。产气量受进水水质影响较大,而进水在配水箱发生的酸化程度与进水在配水箱的停留时间有关。刚配好的水尚未酸化,进入反应器后产气量较低,循环停止。不连续循环期初期测得循环量为0.2  $\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$ 左右。

容积负荷从3 kgCOD  $\cdot\text{m}^{-3}\text{d}^{-1}$ 提高到6 kgCOD  $\cdot\text{m}^{-3}\text{d}^{-1}$ 后,溶解性COD去除率略有下降,为39%~52%,5 d后升高到60%左右,然后渐渐升高到70%、80%以上,之后容积负荷逐渐再被提高。在不连续循环期的中后期,内循环已经十分明显,循环之间的间隔越来越短,直至无间隔。此时容积负荷为15 kgCOD  $\cdot\text{m}^{-3}\text{d}^{-1}$ 左右,进水溶解性COD为3300~4400 mg  $\text{L}^{-1}$ ,水力停留时间5.4 h。试验发现,由于小试反应器的回流管管径较小,容易发生堵塞,也会影响连续循环的形

成。

### 2.1.3 连续循环期(第 85 d 至 170 d)

进入连续循环期时,反应器容积负荷已被提升到  $15 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$  左右,溶解性 COD 去除率 60 % 以上。之后再次提高容积负荷。提高容积负荷的标准是,当溶解性 COD 去除率达到 80 % 以上,并稳定一周左右,每次提高约为原容积负荷的 20 % ~ 30 %。第 106 d,容积负荷提高到  $25.9 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ,进水溶解性 COD 为  $5820 \text{ mg L}^{-1}$ ,水力停留时间 5.4 h,溶解性 COD 去除率 90.7 %;第 135 d,提高到  $31.2 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ,进水溶解性 COD 为  $7000 \text{ mg L}^{-1}$ ,溶解性 COD 去除率 90.2 %;第 148 d,提高到  $39.9 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ,进水溶解性 COD 为  $9300 \text{ mg L}^{-1}$ ,溶解性 COD 去除率 84.4 %;然后在容积负荷  $31.4 \sim 45.0 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ,进水溶解性 COD 在  $8000 \sim 11000 \text{ mg L}^{-1}$  之间运行了 22 d,出水溶解性 COD 在  $480 \sim 1600 \text{ mg L}^{-1}$  间波动,水力停留时间不变。至此,内循环厌氧反应器小试的启动已经完成。

从图 4 可以看出,连续循环期的内循环量较大,一般随容积负荷升高而增加。当容积负荷为  $21.8 \sim 27.8 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$  时,内循环量为  $14.1 \sim 35.9 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ ,容积负荷为  $31.2 \sim 38.8 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$  时,内循环量为  $19.9 \sim 55.0 \text{ L} \cdot \text{h}^{-1}$ 。

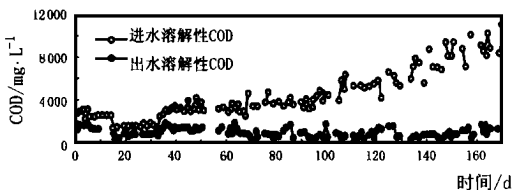


图2 进水和出水溶解性 COD 情况

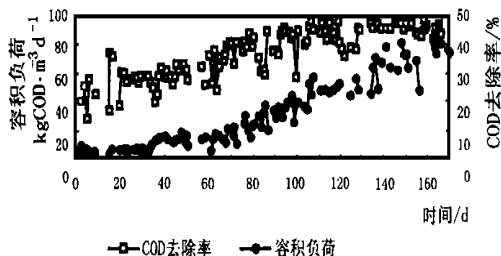


图3 容积负荷和 COD 去除率情况

### 2.2 出水中的 SS 变化

启动初期的出水 SS 低,没有进行逐天测量,但出现过污泥层整体被抬升,出水 SS 突然升高的现象。在不连续循环初期,出水 SS 仍然较低,一般不超过  $250 \text{ mg L}^{-1}$ ,后随产气

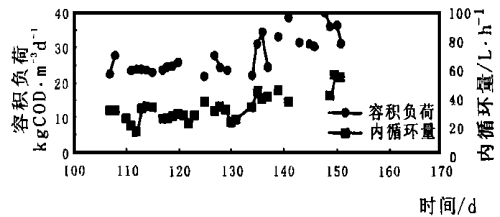


图4 内循环量与容积负荷的关系

率和表面水力负荷的上升而有所增加。

进入连续循环期后,出水中的 SS 增加较多,主要原因是容积负荷增加,产气率加大,反应器内紊动加剧,使得反应器内,特别是底部反应区的颗粒污泥被打碎,碎片被出水带走引起。图 5,6 反映出出水中的 SS 与产气率、表面水力负荷具有正相关性,且在容积负荷较高的连续循环期,SS 受产气率的影响更大。

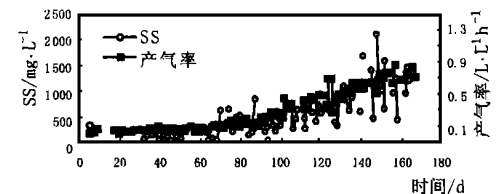


图5 产气率对出水 SS 的影响

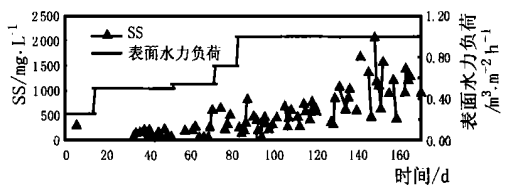


图6 表面水力负荷对出水 SS 的影响

### 2.3 反应器内污泥浓度的变化

反应器内的平均污泥浓度主要与进水水质、反应器内紊动状态、细菌生长速度等因素有关。在试验初期引起污泥浓度降低的主要原因是:不能适应反应器环境的微生物被淘汰,随出水流失;接种后表面水力负荷较低,底部污泥和水的混合不好,使得污泥层整体被抬起,部分上层污泥离开反应器。从图 7

还可以看出,试验进入不连续循环期和连续循环期后,反应器内污泥量并未有明显增加,主要原因是出水 SS 较高。

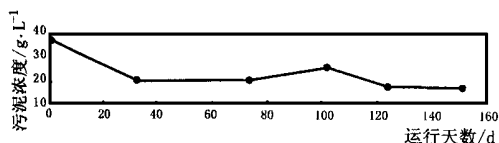


图7 反应器中平均污泥量的变化情况

### 3 结论

根据本小试结果(采用葡萄糖配水为水样),可得出如下初步结论:

(1) 当容积负荷达到  $6 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$  时,可以形成不连续的内循环,随着容积负荷的提高,循环间隔越来越短,然后为零,此时容积负荷约为  $15 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ 。

(2) 当容积负荷达到  $31.4 \sim 45.0 \text{ kgCOD} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ,进水溶解性 COD 约为  $8000 \sim 11000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  时,反应器内水力停留时间为

5.4 h,出水溶解性 COD 为  $480 \sim 1600 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,表明该装置能够有效的去除水中的有机物。

(3) 内循环厌氧反应器出水的 SS 浓度与表面水力负荷以及产气率呈正相关性,在高负荷运行时,受产气率的影响尤其大。

### 参考文献

- [1] 胡纪萃. 试论 IC 反应器[J]. 中国沼气, 1998, 17(17): 3-6
- [2] Pereboom J H F, et al. Methanogenic Granular development in full scale internal circulation reactors [J]. Wat. Sci. Tech., 1994, 30(8): 9-21.
- [3] 何晓娟. IC-CIRCUX 工艺及其在啤酒废水处理中的应用[J]. 给水排水, 1997, 23(52): 26-28.
- [4] 吴允等. 啤酒生产废水处理新技术——内循环反应器[J]. 环境保护, 1997, 9: 18-19.
- [5] Hack P J F M et al. Growth of granular sludge in the Biopaq IC-reactor. Granular Anaerobic Sludge [A]. In: Lettinga. Microbiology & Technology Proceedings of The GASMAT-workshop, Luterer, Netherlands: 1987, 211-214.

**堵漏防水请用沈阳市天红防水材料厂**

## 快速堵漏剂

沈阳市天红防水材料厂生产的快速堵漏剂系由中国建筑材料科学研究院研制。该产品具有带水、带压堵漏,瞬间止水的能力,防水堵漏效果明显,耐久性好;还具有耐酸、耐碱的特性,耐温范围在  $-40 \sim 100$  之间,施工简单,操作方便。

本产品在《中国沼气》杂志发布广告后,先后收到云南、吉林、广西、福建、江西等地多家单位订货,使用后均取得满意效果,给予了高度评价,成为常用户。本厂愿为全国各地沼气建设单位

和用户提供满意服务。代办发货,费用自理,欢迎来电来函联系。产品销价:4元/公斤,25公斤/箱,常用量  $2 \text{ 公斤}/\text{m}^2$ 。

单位: 沈阳市天红防水材料厂

联系人: 刘家琦 邮编: 110002

地址: 沈阳市和平区北七马路 27 号

电话: (024) 22854231、22854232

帐号: 0983337710001

手机: 013904008367

开户行: 招商银行北市支行