

# 厌氧工艺的发展和新型厌氧反应器

王凯军

(北京市环境保护科学研究院, 北京 100037)

**摘要** 回顾了厌氧技术的发展, 着重介绍厌氧反应器的发展趋势. 对第三代的典型反应器, 如颗粒污泥膨胀床(EGSB)反应器, 厌氧内循环(IC)反应器和厌氧升流式流化床(UFB BIOBED)原理和应用进行了详细的介绍. 并且对笔者在城市污水厌氧处理方面的实践也进行了介绍.

**关键词** 厌氧处理, 颗粒污泥膨胀床, 厌氧内循环反应器, 厌氧升流式流化床反应器, 升流式厌氧污泥床反应器.

## Development of Anaerobic Processes and New Type Anaerobic Reactors

Wang Kaijun

(Beijing Municipal Research Academy of Environmental Protection, Beijing 100037)

**Abstract** In this paper the development of anaerobic treatment processes were reviewed, the new developed various anaerobic reactors was emphasized. The principle and application cases of the second and the third generation anaerobic reactor, such as, Expanded Granular Sludge Bed Reactor(EGSB), Internal Circulation Anaerobic Reactor(IC) and Biobed Upflow Fluidized Bed(UFB BIOBED) reactor were introduced in detail. The experience of using EGSB reactor for sewage treatment by Author was also described.

**Keywords** anaerobic treatment, EGSB, IC, UFB BIOBED, UASB.

### 1 厌氧工艺的发展

事实上厌氧消化工艺并不是一个新的工艺, 人们早在一百多年前就开始采用厌氧工艺处理生活污水污泥. 在 1860 年法国工程师 Mouras 采用厌氧方法处理经沉淀的固体物质<sup>[1]</sup>. 1904 年德国的 Imhoff 将其发展成为 Imhoff 双层沉淀池(即腐化池), 这一工艺至今仍然在有效地利用<sup>[2]</sup>. 在 1910 至 1950 年代, 高效的、可加温和搅拌的消化池得到了发展, 其比腐化池有明显的优势. Schroepfer 在 50 年代开发了厌氧接触工艺<sup>[3]</sup>, 这些反应器可以称为第一代的厌氧反应器.

厌氧微生物生长缓慢, 世代时间长, 足够长的停留时间是厌氧工艺成功的关键条件. 很显然厌氧消化池无法分离水力停留时间和污泥停

留时间, 这也是污泥消化池必须保持足够长的停留时间的原因之一. 一般消化工艺在中温(30—35℃)停留时间为 20—30d.

### 2 第二代厌氧反应器

高效率厌氧处理系统必须满足的条件之一是, 能够保持大量的活性厌氧污泥. 依照这一原则人们成功的开发了第二代厌氧反应器, 例如厌氧滤池(AF)、升流式厌氧污泥床反应器(UASB)和厌氧接触膜膨胀床反应器(AAFEB)等<sup>[4-6]</sup>. 这些反应器的一个共同特点是可以将固体停留时间与水力停留时间相分离, 其固体停留时间可以长达上百 d. 这使得厌氧处理高浓度污水的停留时间从过去的几 d 或

\* 王凯军: 男, 37 岁, 博士, 副研究员  
收稿日期: 1997-05-07

几十 d 缩短到几 h 或几 d. 在已经开发的这些高效厌氧处理系统中, UASB 工艺被广泛应用在生产性的装置上, 并且一般非常成功(见图 1).

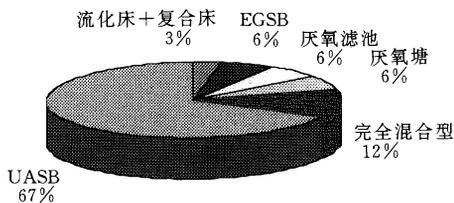


图 1 世界范围内采用厌氧系统统计  
(到 1997 年 3 月有 973 个处理厂)

### 3 第三代厌氧反应器

#### 3.1 第三代厌氧反应器的特点

高效厌氧处理系统需要满足的第 2 个条件, 是使得进水和保持的污泥之间的良好接触. 为此, 人们首先应该确保在反应器布水的均匀性, 因为这样才可以最大程度的避免短流. 这一问题无疑涉及到布水系统的设计. 同时可采用高的反应器设计或采用出水回流而获得高的搅拌强度. 从另一方面讲, 厌氧反应器混合可来源于进水的混合和产气的扰动这两方面. 但是当进水无法采用高的水力和有机负荷的情况下, 例如工艺在低温条件下只得采用低负荷时, 由于在污泥床内的混合强度太低以致无法抵消短流效应, 这种情况使 UASB 反应器的应用受到限制. 正是对于这一问题的研究导致了第三代厌氧反应器的开发和应用.

#### 3.2 厌氧颗粒污泥膨胀床(EGSB)反应器

在荷兰 Wageningen 农业大学进行的关于厌氧颗粒污泥膨胀床(EGSB)反应器研究引人注目, EGSB 反应器实际上是改进的 UASB 反应器, 其仅仅是在运行方式上与 UASB 不同, 即其运行在高的上升流速下使颗粒污泥处于悬浮状态, 从而保持了进水与污泥颗粒的充分接触. 在荷兰已采用 EGSB 反应器对啤酒洗麦废水、酒精废水, 牛奶废水和城市废水进行过充分的研究<sup>[7-9]</sup>. 对上述废水一般的结论是 EGSB 反应器可以在 1—2h 的水力停留时间下取得传

统 UASB 工艺需要 8—12h 所能得到的效果. 以 EGSB 反应器处理城市废水为例, 采用的流程如图 2.

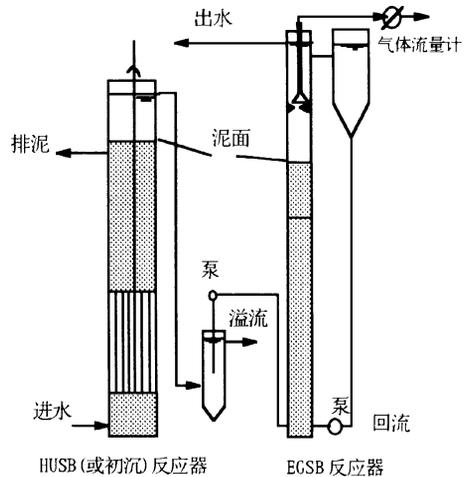


图 2 实验装置 HUSB 和 EGSB 反应器串联工艺

表 1 给出了水解(HUSB)反应器和 EGSB 反应器串联系统在旱季( $t > 15$ )和在雨季气候条件下( $t = 12$ ), 系统去除率等数据以及传统 UASB 系统和初沉+EGSB 系统的对比数据. 很明显采用 EGSB 系统的停留时间明显低于传统的 UASB 系统. 虽然本实验采用的水力停留时间为 5.0h, 但本人以往的研究结果表明采用更短的停留时间是可能的. 对城市废水在温和气候条件下建议 HUSB 反应器采用 2.5—3.0h, EGSB 采用 1.0—2.0h 的水力停留时间.

表 1 厌氧工艺处理城市污水的对比数据<sup>[4]</sup>

反应器	传统 UASB	初沉+EGSB	HUSB+EGSB
温度/ $^{\circ}\text{C}$	> 13	19	13 17 12
HRT/h	9.0	3.0+ 2.1 3+	> 3.5 3.0+ 2.0
COD 负荷 $/\text{g} \cdot (\text{L} \cdot \text{d})^{-1}$		4.7	> 2.7
$E_t^{(1)}/\%$	50—60	32	34 69 51
$E_m^{(1)}/\%$	55	45	51 51 41

1)  $E_t$ : 总 COD 去除率,  $E_m$ : 溶解性 COD 去除率

#### 3.3 厌氧内循环反应器(IC)

(1) IC 反应器的概念 IC 工艺是基于 UASB 反应器颗粒化和三相分离器的概念而改进的新型反应器. 它由 2 个 UASB 反应器的单元相互重叠而成. 特点是在高的反应器内分为

2 个部分. 底部一个处于极端的高负荷, 上部一个处于低负荷. IC 反应器由 4 个不同的功能单元构成: 混合部分、膨胀床部分、精处理部分和回流部分 (图 3).

(2) IC 反应器的应用 荷兰 PAQUES 公司在 1985 年初建造了第一个 IC 中试反应器, 采用 UASB 的颗粒污

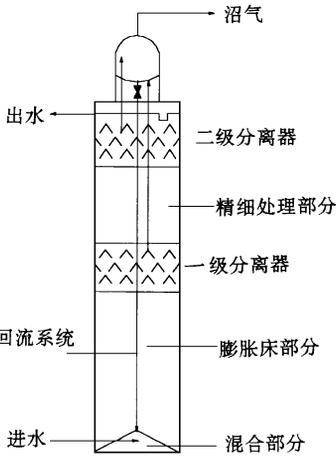


图 3 厌氧内循环反应器示意图

泥接种, 处理高浓度土豆加工废水. 1988 年建立了第一个生产性规模的 IC 反应器. 目前, 在啤酒处理行业 IC 反应器由于其效率高, 占地面积小, 已被广泛采用. 表 2 是 IC 反应器的运行结果.

### 3.4 厌氧升流式流化床工艺(UFB BIOBED)

该工艺是由美荷 Biothane 系统国际公司所开发的一种新型反应器, 它是介于流化床和 UASB 反应器之间一种反应器. 可以在极高的水和气体的上升流速(2 者都可达到 5—7m/h)下产生和保持颗粒污泥, 所以不用采用载体物质<sup>[8]</sup>. 由于高的液体和气体上升流速造成进水和污泥之间的良好混合状态, 因此系统可以采用 15—30kg/m<sup>3</sup>·d 的 COD 负荷. 表 3 是工艺的应用实例.

表 2 IC 反应器处理各类工业废水的参数<sup>[8]</sup>

废水种类	COD 容积负荷 /kg · (m <sup>3</sup> · d) <sup>-1</sup>	HRT /h	沼气产量 /m <sup>3</sup> · kg <sup>-1</sup>	总 COD 去除率/%	溶解性 COD 去除率/%
土豆加工废水	30—40	4—6	0.52	80—85	90—95
啤酒废水中试	18	2.5	0.31	61	71
生产性装置	26	2.2	0.43	80	87

表 3 厌氧升流式流化床工艺的应用实例<sup>[9]</sup>

废水项目	有效体积 /m <sup>3</sup>	COD 负荷 /kg · (m <sup>3</sup> · d) <sup>-1</sup>	水力负荷 /m <sup>2</sup> · (m <sup>3</sup> · h) <sup>-1</sup>	气体负荷 /m <sup>2</sup> · (m <sup>3</sup> · h) <sup>-1</sup>	COD 去除率 /%
制药(荷兰)	4 × 290	30	7.5	4.5	55(60)
面包酵母(法国)	2 × 95	44/28	10.5	8—4	60(65)
面包酵母(德国)	95	40	8.0	4.0	90(98)
啤酒(荷兰)	780	19.2	5.5	2.7	60(80)
化工(荷兰)	275	10	6.3	3.1	90(95)
玉米淀粉(美国)	1314	20.8	2.8	3.4	87(90)

从图 1 可见, 自 1988 年建成第一个 IC 反应器至今, EGSB 反应器的应用已占厌氧应用的 6%(其中包括 IC 和 UFB 反应器), 可见第三代厌氧反应器发展十分迅速. 我国厌氧技术开发的现状是, 尚不能很好地地将第二代厌氧反应器推广到生产实践中, 特别是 UASB 技术还无法在大规模的生产装置上形成稳定的颗粒污泥. 因此, 还无法谈到第三代厌氧反应器的应用.

### 参 考 文 献

- 1 McCarty P L. One Hundred Years of Anaerobic Treatment, Anaerobic Digestion 1981, Proc. of the Second Int. Symp. on Anaerobic Digestion. 1981: 3—22
- 2 王凯军编著. 低浓度污水厌氧-水解处理工艺. 北京: 环境科学出版社, 1991: 10—121

- 3 Schroeffer G L et al. The Anaerobic Contact Process as Applied to Packing House Wastes, Sewage and Ind. Wastes, 1955, 27(4): 460—486
- 4 Wang Kaijun. Integrated Anaerobic and Aerobic Treatment of Sewage. Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, 1994: 1—32
- 5 Lettinga G et al. The Application of Anaerobic Treatment to Industrial Pollution Treatment. In: Proc. Ist. Int. Symp. on Anaerobic Digestion, 1979: 167—186
- 6 McCarty P L. Historical Trends in the Anaerobic Treatment of Dilute Wastewater, In: Proc. of Seminar/Workshop. Anaerobic Treatment of Sewage, 1985: 3—16
- 7 Last A R M van der and Lettinga G. Anaerobic Treatment of Domestic Sewage under Moderate Climatic (Dutch) Conditions Using Upflow Reactors at Increased Superficial Velocities. Wat. Sci. Tech., 1992, 25(7): 167—178
- 8 Frankin R J et al. Application of the Biobed Upflow Fluidized Bed Process for Anaerobic Waste Water Treatment. Wat. Sci. Tech., 1992, 25(7): 378