

# 两级 UASB- CAAS 技术处理酒精废液

王 炜<sup>1,2</sup> 陈 坚<sup>2</sup> 尹艳军<sup>3</sup> 杨 凯<sup>3</sup>

(1.安徽文王酿酒股份有限公司,安徽 临泉 236400; 2.江南大学生物工程学院环境生物技术研究室,江苏 无锡 214036; 3.石家庄三鹿集团股份有限公司,河北 石家庄 050071)

**摘 要:** 利用厌氧处理与好氧处理相组合的工艺进行酒精废液处理试验研究。结果表明,在进水 COD 为 20000~23000 mg/L,有机负荷 6.62~7.13 kg/m<sup>3</sup>·d,水力停留时间 2.51~2.62 d 条件下, COD 去除率可达 83.9%~86.5%,出水水质可降到 2000 mg/L 左右;处理的有机废水可完全达到国家排放标准;该处理具有效果稳定、运行简单、处理费用低等特点。( 孙悟)

**关键词:** UASB- CAAS 反应器; 酒精废液; BOD/COD

中图分类号: X797; TS262.2 文献标识码: B 文章编号: 1001- 9286(2006)10- 0101- 03

## Utilization of Two- stage UASB- CAAS Technique to Treat Alcohol Sewage

WANG Wei<sup>1,2</sup> CHEN Jian<sup>2</sup> YIN Yan-jun<sup>3</sup> and Yang Kai<sup>3</sup>

(1.Anhui Wenwang Liquor-making Co.Ltd, Linquan, Anhui 236400; 2.Lab of Environmental Biotech, Southern Yangtze University, Wuxi, Jiangsu 214036; 3 Shijiazhuang Sanlu Group Co.Ltd, Shijiazhuang, Hebei 050071, China)

**Abstract:** The experimental research on alcohol sewage treatment by the combination of anaerobic treatment techniques and aerobic treatment techniques had been done. The results indicated that COD removal rate could achieve 83.9%~86.5% and output water quality could reduce to about 2,000 mg/L under the conditions including intake water COD as 20,000~23,000 mg/L, organic load as 6.62~7.13 kg/(m<sup>3</sup>·d), and water power holding time as 2.51~2.62 d. The treated organic sewage met national discharge standards completely. Such method had the characteristics of stable effects, simple operation, and low treatment cost etc. (Tran. by YUE Yang)

**Key words:** UASB-CAAS reactor; alcohol sewage; BOD/COD

酒精废水具有 BOD/COD 比值大(本公司的 BOD/COD>0.45)的特点,该类废水有很好的可生化性,易于被生物降解,适宜进行生物处理<sup>[1]</sup>。目前,用于有机物污染废水处理的生物处理方法包括好氧生物处理、厌氧生物处理和厌氧-好氧结合生物处理法。

对于高浓度的酒精废水来讲,单纯用厌氧发酵法处理后,出水 COD 浓度仍然很高,无法达到排放标准。若直接采用好氧法处理,经济上则不合算,需要大量的投资和占地,能耗也较高。而厌氧和好氧相结合工艺与单独的厌氧或好氧处理法相比,具有如下优越性<sup>[2~4]</sup>:

厌氧阶段可大幅度地去除水中的悬浮物或有机物,使后续好氧处理的污泥量得到有效的减少,从而可缩小设备容积液。

厌氧工艺可对进水负荷的变化起缓冲作用,为好氧处理工段创造较稳定的进水条件。

经过厌氧处理后,不仅可以提高废水的可生化

性,提高好氧工艺的处理能力,而且可利用产酸菌类多、生长快对环境条件适应能力强的特点,有利于运行条件的控制和缩小处理设备的容积。

产生的沼气主要用于发电、锅炉助燃,小部分用于职工生活做饭,因此,采用的厌氧与好氧结合工艺是目前在国内应用得较广泛的方法之一。

污水处理生物反应器的不断成熟并走上工业化,使厌氧处理效率和沼气生产量有了很大的提高;特别是厌氧污泥床(UASB)反应器,已成为国内有机废水处理量优先发展的设备。根据工作经验及对酒精废水特性的研究,笔者认为厌氧处理与好氧工艺进行组合,才能实现最佳处理效果。为此本文开展了这方面的研究。

### 1 材料与方法

#### 1.1 废水水质

来自酒精蒸馏车间的酒精废液经过卧螺式离心机

收稿日期: 2006-06-09

作者简介: 王炜(1970-), 工程硕士, 从事轻工技术研究工作。

通讯作者: 陈坚。

分离后的典型废水。

1.2 工艺流程及主要设备

1.3 工艺流程

生产过程所采用工艺流程见图 1。

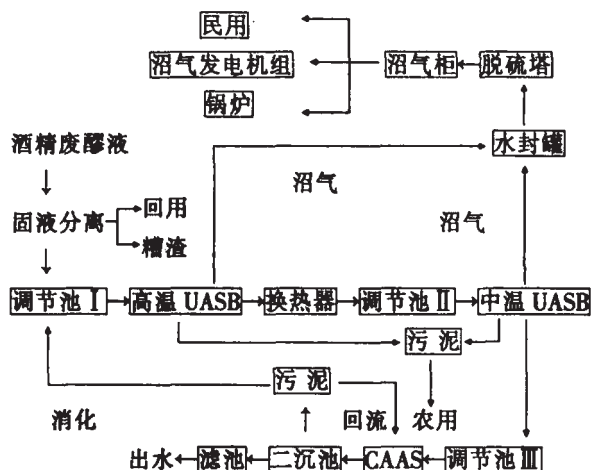


图 1 酒精废液处理工艺流程

1.4 主要设备

厌氧反应器采用 UASB, 容积 600 m<sup>3</sup> 的 2 座、1000 m<sup>3</sup> 的 1 座, 进水采用大阻力脉冲进水方式, 每座反应器从下向上设有取样口 3 个, 测温装置 2 套, 另有人孔、排渣管等。反应器内部用环氧树脂进行防腐, 外部用保温材料进行保温。好氧生物反应器采取好氧组合生化池 (CAAS), 该装置已由原无锡轻工大学生物工程学院环境生物技术研究室申请专利, 有效容积 900 m<sup>3</sup>; 沼气发电机采用山东潍坊柴油机厂生产的 6160H-6 型。

1.5 分析项目及测定方法

试验监测分析方法采用国家环保总局编制的水和废水监测分析方法。监测项目及分析方法见表 1。

表 1 监测项目及分析方法

序号	项目名称	分析方法
1	COD <sub>Cr</sub>	标准重铬酸钾法
2	BOD <sub>5</sub>	稀释培养法
3	NH <sub>3</sub> -N	滴定法
4	DO	膜电极法
5	SV	量筒法
6	pH	电极法

2 结果与分析

2.1 单级 UASB 反应器在高温条件下的运行

在反应器都达到较稳定的处理效率后, 连续稳定运行 21 d, 每天进行常规监测, 每 3 d 的均值为一组数据, 运行结果见表 2。

从表 2 可以看出, 当反应器控制在 55~55℃, 反应器进水 COD 20373~222184 mg/L, 有机负荷 6.62~7.13 kg/m<sup>3</sup>·d, 水力停留时间 2.51~2.62 d 的条件下, COD 去除率 83.9%~86.5%, 气体产率 0.56~0.62 m<sup>3</sup>/kg。

2.2 两级串联 UASB 反应器处理

表 2 高温 UASB 反应器并联处理酒精废液的运行结果

停留时间 (d)	有机负荷 (kg/m <sup>3</sup> ·d)	进水 COD 浓度 (mg/L)	COD 去除率 (%)	沼气产率 (m <sup>3</sup> /kg)
2.51	6.71	21675	84.2	0.58
2.52	6.88	20917	85.7	0.56
2.62	7.13	22184	83.9	0.61
2.58	7.09	21367	86.3	0.59
2.53	7.12	20598	85.9	0.61
2.60	6.83	20983	86.5	0.58
2.52	6.62	20373	85.1	0.62
2.61	7.05	21087	85.6	0.59

两级厌氧处理反应器串联是指两步厌氧消化工艺即产酸反应和产甲烷反应器串联以处理一些成分复杂的废水<sup>[9]</sup>, 根据反应动力学原理, 这种串联比并联运行有更高的生产强度。Letting<sup>[9]</sup>也证明了这种方式能达到更好的整体处理效果。

在厌氧系统的通水 COD 浓度以及整体有机负荷基本不变的条件下, 两级高温 UASB 反应器串联处理酒精废液的运行结果见表 3。

表 3 高温 UASB 反应器串联处理酒精废液运行结果

有机负荷 (kg/m <sup>3</sup> ·d)	进水 COD 浓度 (mg/L)	I 级 COD 去除率 (%)	II 级 COD 去除率 (%)	总 COD 去除率 (%)
6.70	21369	76.0	59.8	90.4
6.95	20872	76.2	61.2	90.8
7.18	20927	75.6	62.6	90.9
7.05	21076	75.9	61.7	90.7
7.19	21106	74.3	62.9	90.5
6.98	20759	75.1	61.4	90.4
7.13	21397	75.5	59.3	90.0
7.08	20875	74.2	61.6	89.9
7.03	20962	75.8	61.8	90.8
7.20	21383	76.9	62.6	91.4

从表 3 可以看出, 反应器在进水 COD 在 20872~21397 mg/L、有机负荷 6.95~7.20 kg/m<sup>3</sup>·d 的运行条件下, 整个系统 COD 去除率在 90% 左右, 二级的 COD 去除率一般在 59.3%~62.9% 之间, 酒精废液在经过两级 UASB 反应器处理后, 废水中的 COD 浓度达到在 1900~2100 mg/L 范围, 其出水水质得到了明显的改善。

2.3 两级不同温度 UASB 反应器串联结果

为了比较不同条件下厌氧处理系统的效率和出水水质, 充分利用中温和高温条件下不同种类的厌氧微生物的特性, 分别控制第一级 UASB 反应器高温 (53~55℃) 发酵, 第二级 UASB 为中温 (33~35℃) 发酵, 在与上述研究相似的进水 COD 浓度和有机负荷条件下, 考察得采用这种组合方式系统的运行效果见表 4。通过对表 4 的研究发现, 系统的最佳去除率为 94% 左右, 酒精废液经过处理后 COD 浓度降到 1500 mg/L 以下, 为后续好氧处理至出水达标排放创造了良好条件。

2.4 好氧处理

好氧技术采用 CAAS 反应器, 该反应器是由缺氧

表 4 两级 UASB 反应器串联处理酒精废液运行结果

有机负荷 (kg/(m <sup>3</sup> ·d))	进水 COD 浓度 (mg/L)	I 级 COD 去除率 (%)	II 级 COD 去除率 (%)	总 COD 去除率 (%)
7.02	21326	75.8	74.1	93.7
6.85	20843	76.1	73.9	93.4
7.13	20462	75.9	75.2	94.0
7.21	20967	76.5	74.6	94.1
6.99	21693	74.2	75.8	93.8
6.82	20641	75	75.2	93.8
7.31	21805	76.6	74.9	94.1
7.29	19928	74.9	75.6	93.9
7.18	20771	76.1	75.4	94.2
7.11	20869	75.9	74.3	93.8
7.27	21223	76.8	75.8	94.4
6.85	21796	76.5	76.0	94.4
7.35	22039	77.6	75.3	94.5
7.28	20694	75.9	76.1	94.2
7.19	21098	76.2	75.9	94.3

区、预曝区、沉淀区、曝气区组成,其中曝气源为活性污泥和生物膜法的组合形式,填料为半软性填料,来自二级 UASB 的废水,首先进入 CAAS 反应器的缺氧区。在缺氧区内由于系统处于缺氧状态,利用产酸阶段的作用,将废水中剩余的大分子有机物降解为小分子有机物,从而提高废水的 BOD<sub>5</sub>/COD 的比值,改善了废水水质和废水的可生化性;缺氧区出水进入预曝区,使污泥中的微生物得到增殖并去除部分 COD;进入沉淀区后将前段废水中的污泥分离,废水可在较佳状态进入曝气区;从沉淀源出来的废水进入 CAAS 反应器的曝气区,曝气区为该反应器的核心单元,采用生物膜法和活性污泥组合形式,由于池内填料比表面积大,池内充氧条件好,氧化池内单位容积的生物量高于活性污泥法及生物滤池法,池内曝气装置设在填料之下,供氧充足,传质条件好,池内生物活性高,生物膜更新速度快,可以承受的浓度负荷是其他生物法的几倍,因此可以减少占地,节省能耗;接触氧化池分三格,每格可采用不同的污泥负荷,并使每个微生物与负荷条件(大小、性质)相适应,利于微生物专性培养驯化,二沉池出水后设有一滤池,主要用于去除二沉池出水中可能含有的过高的悬浮物及少量的有机物,此系统具有更高的处理效能,获得较好的去除效果。

CAAS 反应器在正常运转情况下,反应器中连续进水,曝气池中的半软性填料表面已形成丰富的生物膜,其中在曝气区内控制较高的污泥浓度和气水比,气水比在 20 以上,污泥沉降比(SV<sub>30</sub>) 在 65%~85% 范围内其运行结果见表 5。

从表 5 可以看出,当进水 COD 为 1202~1312 mg/L,总停留时间为 21.9~23.6 h 时,出水 COD 为 147~172 mg/L。由此可见,CAAS 反应器不仅有改善对

表 5 CAAS 反应器的运行结果

运行日 (d)	进水 COD(mg/L) 范围	出水 COD(mg/L) 范围	COD 去除率 (%)	HRT (h)		
1~6	1228~1344	1286	165~172	168	86.9	23.6
7~15	1237~1376	1307	162~182	172	86.8	23.1
16~25	1278~1345	1312	145~196	170	87.0	22.8
26~32	1278~1286	1282	147~178	163	87.3	23.6
33~40	1205~1216	1211	152~168	160	86.8	22.9
41~47	1188~1294	1241	148~171	159	87.2	21.8
48~55	1212~1221	1217	126~168	147	87.9	22.5
56~65	1200~1203	1202	150~176	163	86.4	21.9

UASB 反应器的出水水质的特性,而且具有很好的有机物去除效果和耐冲击能力。

## 2.5 整个系统的运行效果

在生物处理过程中,如何顺利地实现厌氧和好氧处理的衔接,提高后续好氧处理的净化效果,一直是许多研究者研究的重点,CAAS 反应器能够较合理地解决这一问题,为系统的达标排放创造了良好的条件。该工艺在 15000 t/a 的酒精厂运行正常,日处理废液 750 m<sup>3</sup>,其整个工艺的运行结果见表 6。

由表 6 可见,当系统进水 COD 为 42576~44763 kg/L, BOD<sub>5</sub> 为 30800~31530 mg/L 时,酒精废醪经固液分离后,采用“两级 UASB-CAAS”组合系统处理,处理后的废水 COD 去除率达 99.4%, BOD 去除率 99.6%,出水 COD 低于 150 mg/L, BOD<sub>5</sub> 低于 50 mg/L,达到了《污水综合排放标准》(GB8978-1996) 排放标准要求。

## 3 结论

3.1 采用单级高温 UASB 反应器处理酒精废液,当进水 COD 为 20000~23000 mg/L,有机负荷在 6.62~7.13 kg/m<sup>3</sup>·d,水力停留时间 2.51~2.62 d 的条件下,COD 去除率可达 83.9%~86.5% 范围内;将两级 UASB 反应器串联,在相近的运行条件下,出水水质可降到 2000 mg/L 左右。

3.2 将一级高温 UASB 与一级中温 UASB 反应器串联,由于可发挥不同种类厌氧微生物的效能,在基本相同的条件下,与两相高温 UASB 串联方式相比,系统出水 COD 可进一步降低到 1500 mg/L 以下,可去除大量有机物,有助于在此基础上采用好氧处理,并节约大量的动力消耗。

3.3 CAAS 系统设计采用均负荷推流式反应器,充分利

表 6 整个系统的运行结果

序号	项目	COD 含量 (mg/L)	COD 平均去除率 (%)	BOD 含量 (mg/L)	BOD 平均去除率 (%)
1	系统进水	42576~44763		30800~31530	
2	固液分离出水	19928~22039	51.9	15230~17003	46.8
3	两级 UASB 出水	1188~1345	94.2	357~429	96.7
4	CAAS 反应器出水	147~172	87.4	58~63	84.8
5	生物滤池出水	115~138	20.7	34~46	28.9
6	系统出水	115~138	99.4	34~46	99.6

(下转第 107 页)

的MIC反应器情况见图4。

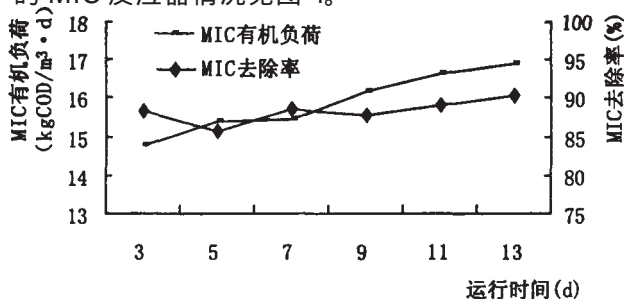


图4 稳定运行阶段的MIC有机负荷、COD去除率随运行时间的变化

#### 4.3 MIC反应器的酸碱平衡

MIC反应器的pH是反应器体系中 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{NH}_3$ 在气液两相间的溶解平衡、液相内的酸碱平衡及固液相间的离子溶解平衡等综合作用的结果。酒精废水的pH低、COD浓度高，采用以每 $1\text{ m}^3$ 工艺废水加 $\text{Ca}(\text{OH})_2$  1.125 kg和好氧系统出水混合后作为MIC反应器的进水，可以调配废水的pH为3.5~5，同时也利用污泥的颗粒化，MIC反应器的出水pH为6.5~7.2。MIC反应器出水随进水pH变化图见图5。

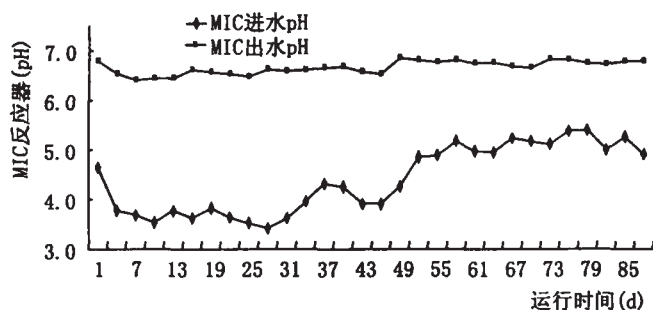


图5 MIC厌氧反应器出水随进水pH变化图

在MIC反应器正常运行的情况下，产酸菌和甲烷菌会自动保持平衡，并将消化液的pH值维持在6.5~7.5的范围内。VFA为厌氧产酸细菌的产物，当反应器由于温度波动、有机负荷、水力负荷、甲烷菌中毒等情况，会造成VFA的积累，密切监控出水的VFA变化，以采用适当的控制方法。每支MIC反应器产沼气量为

1000~1100  $\text{m}^3/\text{h}$ ，MIC出水pH为6.5~7.2，VFA为3~5 mmol/L，说明MIC厌氧反应器维持在稳定的酸碱平衡中。MIC厌氧反应器出水VFA变化图见图6。

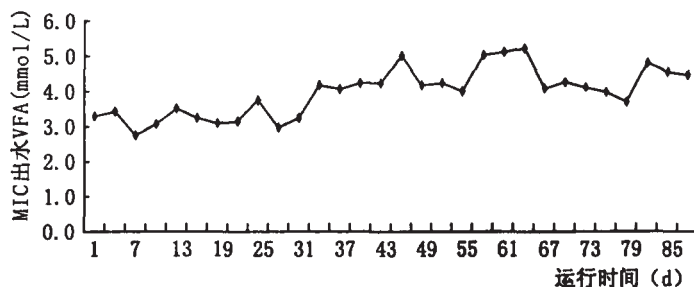


图6 MIC厌氧反应器出水VFA变化图

## 5 结论

5.1 采用两级厌氧的MIC反应器和两级好氧工艺处理酒精废水是可行的，出水能够达到二级排放标准。

5.2 1年多的运行表明，这4支一级MIC厌氧反应器可以连续、稳定地在设计条件下运行。MIC厌氧反应器在有效负荷为 $1\text{ kg COD}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ ，温度为35~39条件下，处理玉米酒精高浓度废水，COD去除率达88%以上。

5.3 MIC厌氧反应器在低pH下，接种足够量的污泥，厌氧系统可以实现快速启动。MIC厌氧反应器在投加少量的钙盐后，可以维持良好的酸碱平衡。

5.4 MIC反应器是整个废水处理系统中的一个单元，在使用MIC时和其他厌氧技术一样，应该重视预处理单元、厌氧反应后的污泥选择与脱气、沼气的收集与利用等，使之能够与其他单元衔接，避免重设备轻工艺的倾向，并注意引导治污单位认识废水治理的复杂性。

### 参考文献：

- [1] 马三剑, 吴建华, 刘锋, 等. 多级内循环(MIC)厌氧反应器的开发应用[J]. 中国沼气, 2002, 20(4): 24-27.
- [2] 王凯军, 秦人伟. 发酵工业废水处理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [3] 胡纪萃, 周孟津, 左剑恶, 等. 废水厌氧生物处理理论与技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.

1998.

- [2] 唐受印. 废水处理工程[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [3] 秦麟源. 废水生物处理[M]. 上海: 同济大学出版社, 1989.
- [4] 耿士锁. 过滤-厌氧-好氧工艺处理酒精废水[M]. 江苏环境科技, 2001, 14(3): 11-13.
- [5] 陈坚, 伦世仪. 颗粒物泥UASB反应器处理高浓度有机废水的研究[J]. 轻工环保, 1987, 9(3): 11-16.
- [6] LETTINGA G, WIEGANT W N. Anaerobic wastewater treatment as an appropriate technology for developing countries[J]. Trib Cebedeau, 1987, 519(40): 21-32.

(上第103页)

用好氧活性污泥与生物膜的协同作用，避免了活性污泥膨胀，同时增加污泥回流，保证运行稳定性，因此具有更高的去除率。

3.4 将以UASB反应器为主体的厌氧生物处理与接触氧化法为主体的好氧生物处理工艺结合，充分发挥各自的优势，处理酒精生产高浓度有机废水，达到国家排放标准。

### 参考文献：

- [1] 贺延龄. 废水的厌氧生物处理[M]. 北京: 中国轻工出版社,