



厌氧好氧分质处理工艺在啤酒废水处理扩改工程中的应用

周焕祥¹ 房爱东² 刘建龙¹

(1 山东省轻工业设计院, 济南 250014; 2 济南天建集团建筑安装公司, 济南 250023)

摘要 分析原混合啤酒废水采用调节水解酸化+ 好氧生物氧化+ 气浮工艺处理出水不能稳定达标的原因: 废水在水解酸化池停留时间过长, 大量消耗废水中的 BOD, 致使废水可生化性变差, 影响处理废水水量和好氧生化处理效果。介绍了应用厌氧 UASB 技术分质处理高浓度酿造废水, 再与其它低浓度废水混合进入生物接触氧化工艺处理的设计、调试和工程实际运行情况。实践证明, 扩改后工艺可大大提高废水处理水量, 具有高效低耗、运行稳定、投资省、管理简单、出水水质好的特点。

关键词 啤酒废水 厌氧 UASB 生物接触氧化 气浮

山东某啤酒有限公司系中外合资企业, 啤酒产量为 15 万 t/a。由于生产规模的扩大和原有废水处理设施存在诸多问题, 必须对原有废水处理站进行技术改造。在确定改造方案时, 决定采用厌氧好氧分质处理工艺, 充分利用原有处理设施。扩改工程建成后连续运行半年多来, 取得了满意的效果, 各项出水水质指标均达到了国家《污水综合排放标准》(GB8978-96) 二级标准。

1 废水来源、水量及水质

啤酒生产过程中排出的废水主要包括: 糖化车间的糖化锅、过滤槽等洗涤废水, 占废水总量 5%~10%, COD 5 000~6 000 mg/L; 发酵车间的发酵罐洗涤、后酵过滤冲刷废水, 占废水总量 20%~25%,

COD 2 500~3 000 mg/L; 罐装车间洗瓶、杀菌、破瓶啤酒及冷却水排污和预洗车间刷瓶废水等, 占废水总量 65%~75%, COD 500~800 mg/L。其中糖化、发酵车间废水属高浓度有机废水, 排水量虽小, 但其污染负荷高, 主要成分有糖化麦糟、糖类、果胶、啤酒花、酵母残渣、蛋白质、纤维素等有机物和少量无机盐类, 该废水非连续性排放(每日一班或二班、三班), 时变化系数大, 水质不稳定; 灌装车间废水排放浓度较低, 且水质比较稳定, 排水量大且波动较小。

据此, 确定如下设计参数: 处理废水水量 4 000 m³/d, 其中高浓度酿造废水水量 1 200~1 500 m³/d。其设计进水水质及排放标准见表 1。

难以分辨, 预示所起作用甚微。以此预计, 当进水量增加或有机物浓度增加, 使污染物总量达到设计值时, 微生物的数量分布将更为合理。

(2) 生化剩余污泥产量同池内固着型污泥量相比可忽略不计, 对池内固着型微生物数量及形态影响甚微。以本工程为例, 经气浮及水解酸化池处理后, 接触氧化 O1 池悬浮物浓度 70 mg/L。进水 BOD 按 100 mg/L, 剩余污泥产量按 0.5 kgDS/kgBOD 保守估计, 则相当于悬浮物浓度共计约 120 mg/L; 而在该种水质条件下, 同类漂染废水的接触氧化池固着型污泥浓度可维持在 3 000 mg/L 以上。

设计时考虑到进水有机物浓度较高, 采用了三级串联接触氧化工艺; 同时考虑到保证系统的抗冲

击负荷能力, O1 池的有机负荷不宜过高, 最终确定各级采用相同的反应时间; 通过当地类似废水调研, 虽然可生化性较佳, 但生化反应速率偏慢, 故采取了较低的有机负荷以及较长的反应时间。各级接触氧化池设计参数见表 2。

表 2 各级接触氧化池设计参数

项 目	进水 BOD / mg/L	出水 BOD / mg/L	容积负荷 / kgBOD/(m ³ ·d)	反应时间 / h
一级	400	150	1.2	5
二级	150	50	0.48	5
三级	50	不计	0.24	5

注: 各级出水 BOD 系预测值。

由于实际进水水质浓度较设计值低, 接触氧化 O1 池出水上清液 COD 均值约 110 mg/L, 接触氧化



表 1 设计进水水质及排放标准

项 目	COD/ mg/L	BOD/ mg/L	SS/ mg/L	pH
高浓度酿造废水	5 000	3 000	500	4.5~ 5.5
低浓度酿造废水	800	400	600	8~ 9
排放标准	≤150	≤40	≤150	6~ 9

2 处理工艺流程

原有3 000 m³/d废水处理工程采用调节水解酸化+ 好氧生物氧化+ 气浮工艺, 由于混合废水在水解酸化工段停留时间过长, 对废水中 BOD 去除率过高, 致使 BOD/ COD 偏低, 可生化性变差。进入好氧生化工段后 COD 去除率下降, 出水不能实现稳定达标排放, 处理能力小于 1 000 m³/d。针对原有工艺存在的问题, 为提高有机物去除效率, 确保扩改工程实施后, 废水实现稳定可靠达标排放。确定采用清污分流处理工艺, 将糖化、发酵车间高浓度有机废水单独收集进行厌氧 UASB 预处理后, 出水与灌装车间低浓度废水汇合进入原有废水处理系统进行好氧生化处理, 其扩改工程工艺流程见图 1。

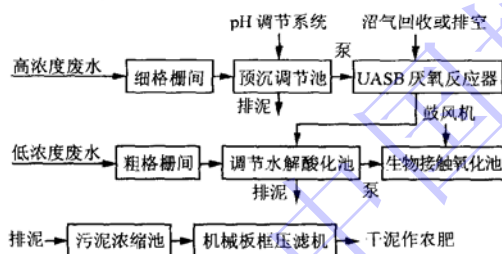


图 1 废水处理扩改工程工艺流程示意

O2 池出水上清液 COD 均值接近于 80 mg/L, 已满足排放标准, 亦即低浓度条件下采用二级串联接触氧化工艺已足够。经数据整理, 各级接触氧化池实际运行参数见表 3。

表 3 各级接触氧化池实际运行参数

项 目	进水 BOD / mg/L	出水 BOD / mg/L	容积负荷 / kgBOD/ (m ³ ·d)	反应时间 / h
一级	100	50	0.48	2.5
二级	50	15	0.34	2.5
三级	15	10	0.05	2.5

5 结语

(1) 实践表明, 采用气浮法预处理→水解酸化+ 接触氧化法生化处理→氧化脱色后处理为主体的工

3 主要处理构筑物和设备选择

3.1 高浓度废水厌氧预处理系统

(1) 预沉调节池。1 座, 新建, 地下式, 尺寸 18 m × 10 m × 4.5 m, 分 2 格, HRT = 9.5 h, 内设 100QW40- 30- 7.5 型污水提升泵 3 台(2 用 1 备), $Q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 0.3 \text{ MPa}$, $N = 7.5 \text{ kW}$, 提升废水至 UASB 装置。为排除池底沉淀污泥, 设置 50QW18- 15- 1.5 型潜污泵 2 台, 间歇式运行, $Q = 18 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 0.15 \text{ MPa}$, $N = 1.5 \text{ kW}$ 。

(2) UASB 厌氧反应器。1 座, 新建, 钢制, 直径 12 m, 高 16.6 m, 内设新型三相分离器、脉冲布水器、排泥系统、贮气及排气筒、水封装置等, 设计容积负荷 4~ 5 kgCOD/ (m³·d), 中温厌氧发酵, HRT = 22 h。

3.2 低浓度混合废水处理系统

(1) 调节水解酸化池。1 座, 原有, 地下式, 尺寸 32 m × 17 m × 6 m, 有效容积 2 750 m³, HRT = 16 h, 运行中调节池不充氧, 起一定的水解酸化作用。池内提升水泵利用原有 100QW85- 18- 11 型潜污泵, 3 台(2 用 1 备), $Q = 85 \text{ m}^3/\text{h}$, $H = 0.18 \text{ MPa}$, $N = 11 \text{ kW}$ 。

(2) 生物接触氧化池。2 座, 其中 1 座为新建。尺寸 26 m × 10.5 m × 5 m, 分 2 级, 采用均负荷推流式生化反应池, 进水采用配水池多点配水、气水升流式运行方式, 上部设三角堰集水槽。氧化池内设置填料 Ø150 mm, 间距 80 mm 的半软性组合填料床, 设计容积负荷 2~ 2.5 kgCOD/ (m³·d), HRT = 12.5 h,

艺流程处理漂染废水是可行的, 出水可达到《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB4287- 92) 一级标准。

(2) 工程实践表明, 多级串联接触氧化工艺表现出与 AB 工艺类似的微生物分区特征, 系统容积利用率高。

(3) 同 AB 工艺相类似, 多级串联接触氧化工艺可用于场地紧张等情况, 同时采用隔墙分格而不设置中间沉淀池, 容积负荷更高, 故其用地面积更为节省, 运行管理更为简单。

※电话: 13916355011

E-mail: z _ d _ p@ 163. com

修回日期: 2004- 5- 23



池底设 KBB- 215 型可变微孔曝气器, 氧利用率 $\geq 21\%$, 服务面积 $0.3 \sim 0.5 \text{ m}^2/\text{个}$ 。利用原有 3 台 L52LD 型罗茨鼓风机(2 用 1 备), 风量 $27.7 \text{ m}^3/\text{min}$, 风压 0.05 MPa , $N = 37 \text{ kW}$ 。

(3) 混凝气浮池。1 座, 利用原有气浮池改造而成, 采用射流气浮工艺。由于原有气浮池总高度不足 2 m , 水力停留时间过短, 致使处理能力小, 投药量大, 运行成本高。改造中将其高度提高至 2.5 m ; HRT 由 20 min 延长至 30 min , 同时更换了射流器和释放器, 处理效果明显改善。

3.3 污泥处理系统

(1) 污泥浓缩池。2 座, 原有, 半地下式, 尺寸 $\varnothing 3 \text{ m} \times 4.5 \text{ m}$, 总容积 30 m^3 , 重力浓缩, 间歇运行, $\text{HRT} = 12 \text{ h}$, 采用 G32- I 型污泥螺杆泵抽泥至压滤机。扩改工程后, 由于采用厌氧生化处理工艺, 污泥量较少, 大部分回流利用, 故利用现有污泥浓缩池即可满足要求。

(2) 板框压滤机。1 台, 原有, 压滤面积 $F = 120 \text{ m}^2$, 日产污泥 1000 kgDS 以上, 可满足扩改后污泥处置需要。干泥饼用作农肥。

4 调试及运行效果分析

4.1 污泥培养驯化期

本工程主要调试工作是厌氧 UASB 污泥床的培养驯化和好氧生物接触氧化池的生物填料挂膜培养。按照调试方案采用间歇培养方法。厌氧污泥取自某酒厂厌氧污泥, 好氧菌种取自当地人畜粪尿, 按设计负荷的 $1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 5/5$ 五个阶段逐步提高运行负荷。调试时每日都需进行常规水质项目的分析监测, 每个负荷阶段需在 COD 去除率稳定一段时间后, 再往上提负荷。调试过程中由于生产车间排水的不稳定及生产意外事故发生, 曾排出大量废酵母及浓洗酸水 ($\text{pH} < 4$), 使 UASB 反应器一度产生过“酸败”现象, 后通过补加菌种和加碱中和才得以补救。好氧段调试时测定池中各点溶解氧, 控制好曝气充氧量, 注意观察是否有污泥膨胀。在调试阶段水解酸化污泥全部排入厌氧 UASB 反应器。表 2、表 3 是调试过程中测得的一组典型数据。

4.2 正常运行情况及分析

经过 45 d 左右的调试运行, 基本完成 $1/5, 2/5, 3/5, 4/5$ 四个负荷段的过渡, 随即进入满负荷运行。

表 2 调试过程中典型处理效果

负荷阶段	COD/ mg/L		
	预沉调节池出水	UASB 出水	气浮池出水
1/5	4 160	840	141(此阶段重点调试 UASB)
2/5	4 390	874	139(此阶段重点调试 UASB)
3/5	3 850	692	115
4/5	4 310	732	126
5/5	4 240	634	132

表 3 满负荷典型处理效果

项 目	COD/ mg/L	BOD/ mg/L	SS/ mg/L	pH
预沉调节池出水	4 240	2 460	850	6.51
UASB 出水	634	295	720	7.52
气浮池出水	131	29.2	102	7.65
总去除率/ %	96.9	98.8	88	

经过前四个阶段的培养及驯化, 生化池内污泥已基本成熟, 生物膜已长至 $1 \sim 2 \text{ mm}$, 去除效果及耐冲击负荷能力均较理想, 所以在满负荷运行阶段只需加以稳定即可。而厌氧污泥的成熟时间较长, 污泥浓度在 $3/5$ 负荷阶段结束时仅在 25 g/L 左右, 仍需进一步培养。

在厌氧污泥未颗粒化且污泥浓度不高的情况下, UASB 耐冲击负荷能力不强, 尤其对 pH 的变化较为敏感, 实际运行中发现 UASB 对碱性废水的耐冲击能力远远大于对酸性废水。在进水 $7 < \text{pH} < 10$ 的情况下, 出水水质较为理想, 去除效果非常稳定; 而在进水 $\text{pH} < 5$ 的情况下, 出水水质便有恶化的迹象, 出水泛白、浑浊且有明显酸味, 这是由于 UASB 内有机酸不断累积的结果。由于啤酒生产废水 pH 有一定的波动, 所以在满负荷运行阶段除通过酸、碱废水的相互中和外, 还须辅以投加化学药剂加以调节。另外, 在实践中还摸索出一套行之有效的解决办法, 即把部分碱性洗瓶废水排入预沉调节池, 经水泵搅拌混合后, 这些碱性水可以起到一定的缓冲作用, 调节池废水 pH 能维持在 5.6 以上, 使后续的厌氧处理能顺利进行, 同时可以大大减少药剂的投加量。

经过 4 个月的调试运行后, UASB 内污泥颗粒化程度较高, 结构密实, 沉降性能好, 污泥浓度达 40 g/L 以上。此时厌氧池产气稳定, 耐冲击负荷能力强, 出水呈浅黑色, 悬浮物少, 去除效果明显。

接触氧化池达满负荷运行后, 定期排放剩余污



泥,实际运行中以 MLSS 指标作为判断依据,当 MLSS 在 3 000~4 000 mg/L 范围内时,处理效果较好,此时氧化池内 DO 在 2 mg/L 以上,污泥沉降性能最佳,SV 在 30% 左右,沉淀后出水清澈;当 MLSS 在 4 000~5 000 mg/L 时,去除效果仍能保证,耐冲击负荷能力最强,但曝气动力费用增加,氧化池 DO < 2 mg/L。镜检生物氧化池内不同高度处的生物膜种类都比较一致,上部原生动物数量较多且个体较大,下部菌胶团较多且结构紧密。二级生化池内出现大量轮虫、钟虫类后生动物。游离菌和生物膜厚度由下向上逐步减少。氧化池中特别是在上层生长大量丝状菌,其对碳源营养要求较高,反应灵敏,对有机物具有较强的吸附氧化能力^[1]。大量丝状菌固着在填料表面,增加了微生物与废水的接触,提高了处理效果。

投产半年多来,处理负荷达到了设计能力,全系统运行稳定,正常情况下各单元 COD 平均处理效率 UASB 反应器为 84.5%,生物接触氧化池为 89.5%。正常运转阶段进、出水 COD 及处理效果变化情况(运行时间 2003 年 8 月)见图 2、图 3。

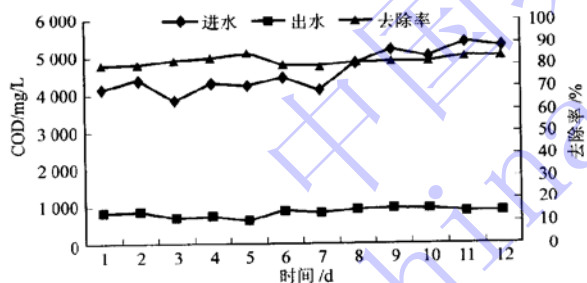


图 2 UASB 反应器进、出水 COD 及其去除率变化情况

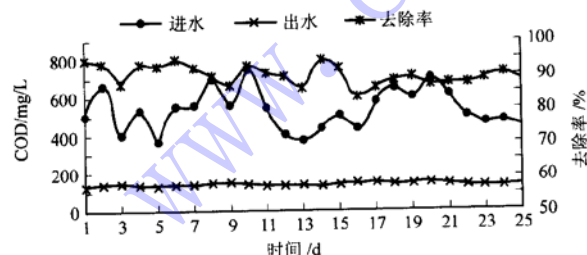


图 3 生物接触氧化池进、出水 COD 及其去除率变化情况

5 运行技术管理

5.1 加强预处理工艺管理

由于啤酒酿造废水中含有部分糖化麦糟、废酵母残渣、废硅藻土等悬浮污染物质,特别是废酵母和

跑漏麦糟,有机物含量高,极易腐败分解酸化^[2],对厌氧反应器冲击较大。因此,应及时清除预沉池中沉淀物,以降低后续处理负荷,并可减少中和药剂用量,降低处理成本。实践证明,采用细格栅除污机和预沉调节池进行预处理,对防止 UASB 反应器堵塞,提高污泥颗粒化程度起到了关键作用^[3]。

5.2 注意测定生物接触氧化池中溶解氧指标

监测生化池内不同时间的 DO,有助于对系统进行调节控制,并减少曝气充氧量,降低能耗。由于啤酒生产淡旺季明显,排水量不均衡,特别是啤酒生产淡季时排水量少,水中有机物浓度低,为了保持生物活性又不能停止曝气,因此必须及时测定水中有机物浓度和 DO,以确定鼓风机开启次数,淡季生产中应保证生化处理出水 DO ≥ 2 mg/L 为宜。

6 结论

(1) 采用厌氧 UASB 处理啤酒高浓度酿造废水,再与其它低浓度生产废水混合处理可以大幅度降低处理设施投资和运行费用。实践证明,啤酒高浓度废水经过 UASB 厌氧处理后,COD 平均去除率在 80% 以上,而且产沼气量大,便于集中使用。该工艺容积负荷高,占地小,去除有机物效率高,有利于形成污泥颗粒床。

(2) 好氧生化系统采用均负荷推流式工艺,具有容积负荷高,占地少,出水水质稳定,无污泥膨胀现象,操作管理简单的优点。尤其采用高效可变微孔曝气器,比原有大孔散流曝气器的氧利用率高,节省动力消耗 35% 以上,具有明显的经济效益。

(3) 啤酒废水中含有部分废酒糟,酵母残渣类悬浮物质,应加强预处理,通过细格栅及预沉调节池及时去除废水中悬浮物质,减少了厌氧酸化危险,节省了中和碱液用量,对降低后处理负荷,加快厌氧污泥颗粒化进程,起到了一定作用。

参考文献

- 1 周焕祥. 水解酸化-生物接触氧化法处理啤酒污水. 工业水处理, 1998, 18(2): 37~38
- 2 靳国正. 啤酒废水处理设计剖析. 给水排水, 2001, 27(2): 51~52
- 3 贺延龄. 废水的厌氧生物处理. 北京: 中国轻工业出版社, 1998

※电话: (0531) 8554410

E-mail: jnlqhb@tom.com

收稿日期: 2004-1-17