

UASB-生物接触氧化工艺处理啤酒废水工程实例

史立河 吕卫利 谢 浩 胡纪萃 孙召强

提要 结合工程实例,说明 UASB-生物接触氧化工艺处理啤酒废水在高寒地区应用的可行性,分析总结了设计、调试和工程实际运行情况,介绍了在冬季不利的气候条件下 UASB 的启动过程和工艺系统的运行费用。

关键词 啤酒废水 UASB-生物接触氧化 运行费用

黑龙江新三星集团公司啤酒厂位于黑龙江省尚志市一面坡镇,距哈尔滨市东南 154 km,年平均气温 2.3℃。最冷月是 1 月份,平均气温-20.3℃。最热月份是 7 月,平均气温 21.6℃。年平均冻土深度为 1.79 m。

1 工程规模及处理程度

该啤酒厂目前生产能力为 15 万 t/a,排放废水量 6 000 m³/d,考虑到将来产量还会提高,因此设计排放废水量为 8 000 m³/d,设计进出水水质见表 1。

表 1 设计进出水水质

项目	COD/ mg/L	BOD/ mg/L	SS/ mg/L	pH	温度/℃
进水	1 500	8 00	700	6~9	18~28
出水	≤100	≤20	≤70	6~9	

2 废水处理工艺流程(见图 1)

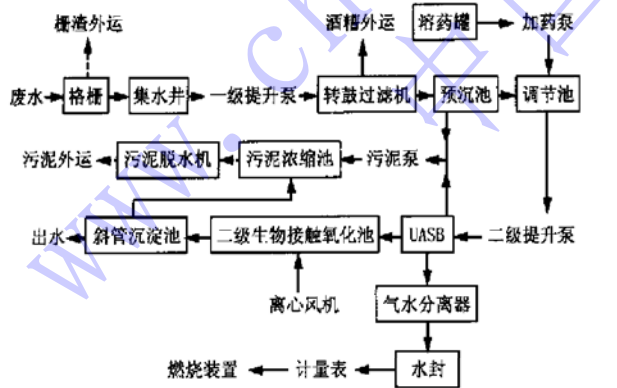


图 1 废水处理工艺流程

3 主要处理单元的设计参数

3.1 调节池

设计水力停留时间为 8 h,池内设置 2 台潜水搅拌机,通过机械搅拌使水质均匀。池子上面设混凝

土预制盖板,以防止冬季散热太快导致水温过低。

3.2 UASB 反应池

UASB 反应池是本设计的主体处理单元,大部分污染物在这里得到降解和去除。UASB 反应池 2 座,对称布置,每座尺寸为 40 m×6 m×5 m。2 座池体中间设有管廊,管廊内设有布水干管和支管、排泥管、取样管等。为了防止冬季水温过低,整个 UASB 单元建于室内。

布水系统和三相分离器(见图 2)是 UASB 设计的关键。本工程采用一管多孔式布水方式,每座 UASB 底部设有 32 根布水支管,每 2 根支管连成一个回路,每 4 根布水支管共用一个电磁流量计。通过调节支管上的阀门,可以保证布水的均匀性。通过切换阀门,可以实现布水支管的冲洗,防止布水孔堵塞,并可同时实现排泥。三相分离器采用清华大学环境科学与工程系的专利技术设备,产品实现模块化,安装方便,整体性好。本工程共用 64 个模块,每个模块的尺寸为 2.99 m×2.4 m×1.3 m。三相分离器上的盖板四周设有水封,防止臭气散逸,液面以上产生的臭气通过臭气管连接排至室外处理。为了防止管道腐蚀堵塞,UASB 的布水管、排水管和沼气收集管全部采用 PVC 管材。

设计参数:容积负荷取 5 kgCOD/(m³·d),水力停留时间 7.2 h,运行温度 ≥20℃。

3.3 生物接触氧化池

采用两级生物接触氧化流程。共设 2 座,每座的尺寸为 19.2 m×13.6 m×4.9 m,每座再分为一级和二级运行。池内放置盾形纤维填料,曝气系统采用小阻力动态曝气头。

主要设计参数:水力停留时间为 3.9 h,气水比

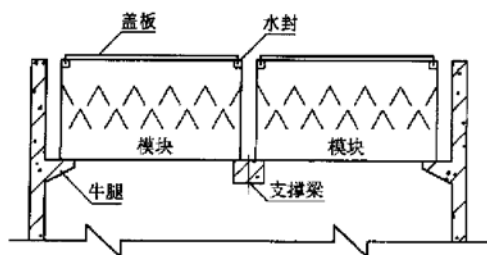


图2 三相分离器模块布置示意

为 10:1, 填料层高度为 3.0 m。

接触氧化池处理后的出水经过斜管沉淀池沉淀后排入附近明渠, 最终流入蚂蚁河。

4 调试和实际运行情况

4.1 UASB 的启动

本工艺的主要调试工作是 UASB 厌氧污泥的培养和驯化。启动时污泥接种量按 $10 \text{ kgVSS}/\text{m}^3$ 平均浓度计算, 需要含水率 80% 的脱水污泥 120 t。采用沈阳市北部污水厂的厌氧消化污泥, 经过稀释筛滤后, 利用 UASB 排泥池内的潜污泵打入池内。

因为启动的时间在 10 月下旬, 气温和水温都较低, UASB 内水温只有 14°C 左右, 这对于污泥的培养显然不利。为了缩短启动时间, 在调节池内加装蒸汽管直接加热, 每日升温 $2\sim 3^\circ\text{C}$, 最终使 UASB 的出水水温达到 $30^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 。

在初始启动阶段, UASB 每天进水 2 次, 每次进水时间为 2 h, 上升流速控制在约 0.5 m/h 。最初, 有大量的细小污泥和杂质被冲洗出来, 出水非常浑浊; 3 d 后, 出水逐渐变得清澈。这一阶段的主要目的是使污泥恢复活性, 通过间歇进水来搅动污泥, 对其进行驯化和筛选, 使其适应啤酒废水。

1 周后, UASB 的容积负荷已经提高到 $0.6 \text{ kg COD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, COD 的去除率保持在 $70\% \sim 80\%$, 产气连续。此后, 通过增加进水次数和调整进水时间, 几乎每隔 3 d 就增加一次负荷, 每次增加的幅度约 30%。同时注意监测分析进出水情况, 始终保持 COD 的去除率在 80% 以上。并且通过在调节池加入 NaOH 溶液, 使 UASB 内的 pH 保持在 $6.5 \sim 7.0$, 以创造有利于细菌增长的条件。

20 d 后, 改间歇式进水为连续进水, 每天进水 18 h, 上升流速约为 0.42 m/h 。每天处理水量为 3600 m^3 , 容积负荷已经提高到 $2.0 \text{ kg COD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

d)。此后, 由于管道漏水进行维修, 停止进水 3 d。维修完成后, 继续以原负荷进水, 处理效果未受影响。

35 d 后, 已经能够处理全部水量, 开始进入试运行阶段。在保证处理效果的前提下, 主要是通过减少加热蒸汽量和用碱量, 寻找使 UASB 及整个系统在最经济条件下运行的方案。先逐渐减少调节池的加热蒸汽量, 使 UASB 内的水温每天降低 $1\sim 2^\circ\text{C}$, 直到使其保持在 $20\sim 23^\circ\text{C}$ 的范围内, 并且稳定运行 1 周; 然后逐步减少投碱量, 最终使 UASB 内 pH 保持在 $6.2 \sim 6.5$, 此时投碱量约为 230 mg/L 。两者分步骤做的好处是: 如果发生反应器酸化等问题, 可以及时判定原因, 采取相应补救措施。

启动阶段的进出水 COD 及容积负荷变化见图 3。

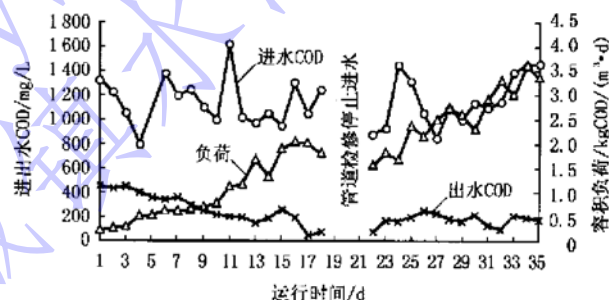


图3 UASB 的进出水 COD 及容积负荷变化

4.2 生物接触氧化池的调试

在 UASB 启动 1 周后, 启动生物接触氧化池。利用 UASB 自然淘汰出来的细小污泥作为接种污泥, 通过连续曝气, 促进好氧菌增殖。在最初几天, 由于池内 COD 较高, 营养相对丰富, 细菌处于对数增长期, 氧的利用速度快, 溶解氧充分被细菌利用, 所以接触池内的 DO 值几乎为零。1 周后, 由于 UASB 出水 COD 降低, 生物接触氧化池进水 COD 也相应降低, DO 值逐步上升; 20 d 后, 虽然供气量没有变化, 但二沉池水 DO 值已经达到 $4\sim 5 \text{ mg/L}$, 出水清澈, $\text{COD} \leq 60 \text{ mg/L}$ 。此时, 生物膜较厚, 呈灰白色, 膜上的生物主要以累枝虫、独缩虫为主, 后生动物以团胶轮虫为主。至此, 可以认为挂膜成功, 调试工作完成。

4.3 工程验收及运行情况

本工程于 2001 年 10 月底 UASB 正式通水启



动,12月初出水达到设计要求,经哈尔滨市环境监测站现场化验分析结果见表2。

表2 全系统进出水各项指标的测定结果

项目	监测日期	12月7日	12月8日	12月9日
pH	进水	5.38	7.22	4.97
	出水	8.06	8.03	7.92
COD	进水/mg/L	2 100	3 140	1 360
	出水/mg/L	42.5	43.8	47.6
	总去除率/%	98.0	98.6	96.5
BOD	进水/mg/L			
	出水/mg/L	6.1	8.0	7.8
SS	进水/mg/L	566	810	422
	出水/mg/L	11.5	13.3	11.0
	总去除率/%	98.0	98.4	97.4

注:表中数据为每天4个不同时间采样分析结果的平均值。

4.4 工程效益分析

4.4.1 工程运行费用分析

试运行期间,平均处理水量约 $5\,500\text{ m}^3/\text{d}$ 。①日耗电量 $2\,000\text{ kW}\cdot\text{h}$,电费单价为 $0.55\text{ 元}/\text{kW}\cdot\text{h}$,每日电费需 $1\,100\text{ 元}$,每 m^3 水电费为 0.20 元 ;②日耗碱量 $1\,200\text{ kg}$,火碱单价为 $1.90\text{ 元}/\text{kg}$,每日碱费需 $2\,280\text{ 元}$,每 m^3 水耗碱费用为 0.41 元 ;③污水处理厂现有员工 20 人 ,工资平均为 $600\text{ 元}/(\text{人}\cdot\text{月})$,每日人工费用需 400 元 ,每 m^3 水人工费为 0.07 元 ;④污泥日处理(药剂费+运费)费用约为 80 元 ,每 m^3 水费用为 0.02 元 ,合计运行费用为 $0.7\text{ 元}/\text{m}^3$,年运行费用为 138 万元 。

4.4.2 经济及环境效益分析

①工程运行出水达标后,企业可以少缴排污费 $60\text{ 万元}/\text{a}$;②现在 UASB 平均每天产生 $2\,400\text{ m}^3$ 的沼气,燃烧值相当于 2.4 t 的优质煤,煤的价格按 $250\text{ 元}/\text{t}$ 计算,若用于锅炉燃烧,每年可节省燃料费 21.6 万元 ;③由于处理出水水质好而且稳定,经过简单过滤消毒即可用于锅炉烟气的水膜除尘和冲洗车辆。若能实行,每天可以节约给水 800 m^3 ,按地下水 $1.5\text{ 元}/\text{m}^3$ 的价格计算,每年可节省给水处理费用 43.2 万元 ;④工程运行后,企业每年减少向水体排放 COD 约 50.4 万 t ,BOD 约 28.2 万 t ,环境效益十分显著。转鼓过滤筛每天能够从废水中截留大约 100 kg 的酒糟,卖给附近的农民作猪饲料。处理后的出水还可以用于厂区周围的农田灌溉。

5 结语

(1)由于本工程地处高寒地区,设计中充分考虑了防寒保温措施,管道阀门尽量集中布置在管廊内。为防 UASB 沼气外泄引起危害,所以 UASB 间整个建筑外围采取避雷措施,室内电气全部采用防爆电气,同时设有沼气报警装置和换气扇。实践证明这些安全措施是非常必要的。

(2)在调试过程中,由于尚未达到设计负荷,UASB 的有机负荷只有 $3.5\text{ COD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ 左右。因此,调试目标以强化污泥活性和增加污泥数量为主,UASB 采用絮状污泥运行。实际上,本工程 UASB 的调试只用 30 d 就基本完成了,常温运行条件下 COD 的去除率稳定在 $85\%\sim 90\%$ 。

(3)生物接触氧化池在启动初期曾产生大量的泡沫,污染了周围环境。随着生物膜增厚,正常运行时这些泡沫才消失。因此,今后在设计和调试中都要考虑消泡措施。

(4)本套处理工艺具有处理效果好,出水稳定,抗冲击负荷能力强,管理维护简单,污泥产量低,动力消耗少的优点。

(5)本工程的缺点是:碱的消耗量较大。主要原因是啤酒废水的碱度较低,容易水解酸化,必须额外加碱补充碱度,以防止 UASB 的酸化。在今后的运行中,随着污泥的增长和逐步驯化,可以尝试适当的减少投碱量。另一方面,大型 UASB 启动时需要的接种泥量较多,并且要求去除各种杂质以防止布水孔堵塞,因而加泥的工作量较大,本工程投加污泥共耗时 15 d 。建议在今后的设计中应该对污泥的投加方法单独考虑,做到简单易行。

参考文献

- 1 贺延龄.废水的厌氧生物处理.北京:中国轻工业出版社,1997. 130~ 138
- 2 王凯军,左剑恶,等.UASB 工艺的理论与工程实践.北京:中国环境科学出版社,2000. 52~ 70
- 3 湛建宇,刘晓云.厌氧 UASB-新型生物接触氧化工艺处理啤酒废水.给水排水,2000,26(4): 34~ 35

◎作者通讯处:100084 北京海淀清华大学学研大厦 A 座 8 层
北京清华永新双益环保有限公司
电话:(010)86251088-6831
谢浩 650051 云南城源工程建设有限公司
收稿日期:2002-4-4