

内循环厌氧反应器—好氧工艺处理果汁生产废水

刘伟丽¹, 袁刚²

(1. 苏州依斯倍环保装备科技有限公司, 江苏 苏州 215000; 2. 广东瀚蓝生物环保科技有限公司, 广东 佛山 528225)

摘要: 采用内循环厌氧反应器(IC)/好氧生物工艺处理高浓度苹果汁生产废水。废水水量为 $1\,200\text{ m}^3/\text{d}$, 进水COD为 $2\,000\sim 10\,000\text{ mg/L}$, pH值为 $5\sim 7$ 。废水经处理后, 出水 $\text{COD}\leq 60\text{ mg/L}$, 满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级B排放标准。IC反应器对COD的去除率高达90%以上。该工程投资为425万元, 运行电费为 $1.85\text{ 元}/\text{m}^3$, 药剂费约 $0.96\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

关键词: 果汁生产废水; 内循环厌氧反应器; 生物接触氧化

中图分类号: TU993 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)04-0119-04

Application of Internal Circulation Anaerobic Reactor and Aerobic Process to Treat Juice Production Wastewater

LIU Wei-li¹, YUAN Gang²

(1. Suzhou Yisibei Environmental Protection Equipment Sci & Tec Co. Ltd., Suzhou 215000, China;
2. Guangdong Hanlan Environmental Protection Sci & Tec Co. Ltd., Foshan 528225, China)

Abstract: The internal circulation (IC) anaerobic reactor/aerobic biological process was used to treat high concentration apple juice wastewater. The influent quantity was about $1\,200\text{ m}^3/\text{d}$ and influent COD concentration was $2\,000\sim 10\,000\text{ mg/L}$ and pH value was $5\sim 7$. After treatment, the effluent $\text{COD}\leq 60\text{ mg/L}$, which could reach the first level B discharge criteria in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002). The COD removal rate of IC reactor was over 90%. The project investment was 4.25 million yuan and the operation electricity cost was $1.85\text{ yuan}/\text{m}^3$ and chemical agent cost was about $0.96\text{ yuan}/\text{m}^3$.

Key words: juice production wastewater; IC anaerobic reactor; biological contact oxidation

陕西某企业主要生产加工浓缩果汁及副产品香精等,在果汁生产浓缩过程中产生大量果汁废水($1\,200\text{ m}^3/\text{d}$),主要来源于原料果清洗、超滤驻留罐底物排放、超滤及树脂罐清洗、冷却器多余冷凝水及地面冲洗等环节^[1]。废水中含有大量的糖类、果胶、果渣及水溶物和纤维素、果酸、单宁、矿物盐等,属于高浓度有机废水,具有以下特点:

① COD 浓度高,一般 $\text{COD}\geq 8\,000\text{ mg/L}$, $\text{BOD}_5\geq 3\,000\text{ mg/L}$, $\text{B/C}>0.3$,可生化性较好;

② SS 含量相当高,含有大量的果渣、果肉及

果屑等细小悬浮物,SS 为 $800\sim 5\,000\text{ mg/L}$,易致水体 pH 值大幅下降,进水 pH 值最低可达 4.0 左右;

③ 废水中营养成分单一,氮、磷及微量元素等营养物质缺乏;

④ 受水果收购季节的影响,果汁加工时间一般为每年的 8 月—12 月,其余时间处于停产状态,几乎不排放废水^[2-4]。

果汁生产废水具有水量大、污染物浓度高、水质波动大等特点,若不加以处理直接排放,会对周围环境造成严重影响。该果汁厂地处陕西某县城郊,现

有的城镇污水厂配套设施受纳量基本饱和,需自行将废水处理达到排放标准后再汇入市政管网,故本工程处理出水标准为《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 B 排放标准。

1 废水水量、水质

废水来源主要包括洗果水、树脂清洗水、超滤反洗废水及其他清洗水。废水排放量为 $1\,200\text{ m}^3/\text{d}$, 处理出水水质执行《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 B 排放标准。进水水质及排放标准见表 1。

表 1 废水水质及排放标准

Tab. 1 Wastewater quality and discharge standard

项目	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_3 - \text{N}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	TP/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	pH 值
进水水质	2 000 ~ 10 000	400 ~ 800	10	5	5 ~ 7
排放标准	60	20	8	1	6 ~ 9

2 工艺流程

废水处理工艺流程见图 1。生产废水首先经机械格栅去除大块的果肉及杂质,再进入隔渣池。隔渣池为两池串联,出水自流入集水井内,经泵提升至水力筛,进一步去除苹果籽、苹果梗等杂质后流入调节水池。调节水池设有搅拌装置,废水经均质均化后,由水泵定量排入混凝沉淀池,小絮体发生聚集并沉于池底,上清液自流入内循环(IC)厌氧反应器进

水池内。在进入 IC 前废水 COD 为 $3\,000 \sim 4\,000\text{ mg/L}$ 。IC 进水池为 IC 厌氧反应器的配水池,用于保证进水的温度及营养物质。IC 厌氧反应器为地上钢制结构,其出水自流入沉淀槽内。厌氧反应产生的沼气经脱硫后排入果渣干燥车间作为燃料。沉淀槽出水排入好氧生化单元,污泥回流至 IC 厌氧反应器内。经 IC 厌氧处理后的 COD 约为 $150 \sim 300\text{ mg/L}$ 。好氧生化单元分两段,一段为活性污泥池 + 中沉池,二段为生物接触氧化池 + 二沉池。生化处理出水经砂滤后即可满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 B 排放标准。

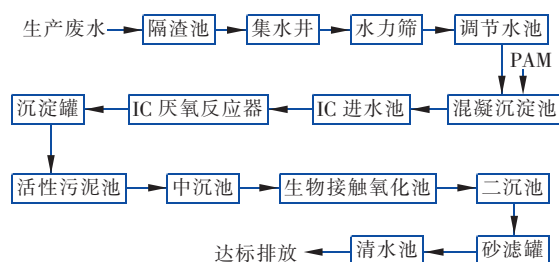


图 1 废水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

混凝沉淀及好氧生化剩余污泥均排入污泥储池,再定量提升至自流罐内,与 PAM 充分混合后泵入带式污泥脱水机进行脱水处理。

3 主要构筑物及设计参数

主要构筑物及设计参数见表 2。

表 2 主要构筑物及设计参数

Tab. 2 Main structures and design parameters

项目	规格尺寸	数量/座	设计及运行参数
隔渣池	16.5 m × 10 m × 9.5 m	1	HRT = 16 h, 配一台刮渣机
集水井	9 m × 6 m × 4 m	1	HRT = 2 h
调节水池	25 m × 15 m × 5 m	1	HRT = 24 h, 4 mm 栅隙水力筛
混凝反应池	1.7 m × 3 m × 2 m	1	HRT = 9 min, 分混凝段和絮凝段
混凝沉淀池	20 m × 5 m × 5.5 m	1	表面负荷为 $0.6\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
IC 厌氧反应器	$\varnothing 11\text{ m} \times 20.5\text{ m}$	1	HRT = 36 h, 容积负荷为 $3 \sim 5\text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$
IC 出水沉淀罐	$\varnothing 5\text{ m} \times 5\text{ m}$	1	HRT = 1.5 h
活性污泥池	14.6 m × 16.5 m × 6.0 m	2	HRT = 26 h
中沉池	14.6 m × 5.5 m × 6 m	1	表面负荷为 $0.74\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
生物接触氧化池	14.6 m × 5.5 m × 5.5 m	1	HRT = 6.7 h
二沉池	14.6 m × 9 m × 5.5 m	1	表面负荷为 $0.46\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$
清水池	4 m × 6 m × 4.2 m	1	含砂滤器及巴氏计量槽

4 启动及运行效果

4.1 IC 厌氧反应器的启动

IC 的启动水源采用厂内的过期香精及部分设

备冲洗废水及少量的生产废水,调节 COD 浓度约 $5\,000\text{ mg/L}$,并适量补充氮、磷等物质及微量元素。为保证 IC 快速启动,采用来自淀粉行业的厌氧颗粒

污泥,投加量约 30 t,并补充部分絮状污泥。厌氧颗粒污泥的技术指标见表 3。

表 3 厌氧颗粒污泥的技术指标

Tab.3 Indexes of anaerobic granular sludge

项目	粒径/ mm	TSS/ ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)	VSS 与 TSS 之比/%	有效颗 粒度/%	含水 率/%	外观
指标	1~3	100 ± 10	≥ 70	≥ 70	85~88	圆形

在生产开始前 1 个月,采用进水 2 h、间歇 2 h 的间歇进水模式,以设计负荷的 20% 作为启动负荷,对厌氧反应器进行启动。严格控制进水温度为 30~35 ℃,pH 值为 6.5~7.5,逐步提高负荷,增加实际生产废水。经过 40 天的调试,IC 厌氧反应器对 COD 去除率可达到 80% 以上,且通过实时监测出水 SS 及 VFA/ALK 等数据,确认 IC 已基本满足生产需求^[5],开始正常进水。

4.2 处理效果

果汁生产周期自当年 8 月至次年 1 月,约 5 个月。以 11 月的运行数据为例,考察各处理单元对 COD 等指标的处理效果及稳定运行情况。

4.2.1 预处理单元

调节水池之前的隔渣池等前处理设施主要用于去除废水中的泥砂等无机物及大块的碎苹果,故对预处理效果的考察主要指调节水池及之后的混凝单元对 COD 的去除效果(见图 2)。

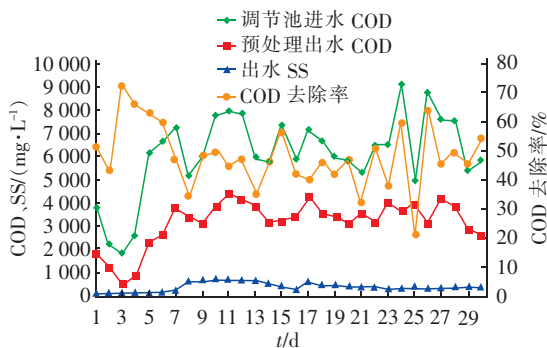


图 2 预处理单元的 COD 处理效果

Fig.2 COD removal effect by pretreatment unit

由图 2 可见,调节水池进水 COD 在 2 000~10 000 mg/L 范围内波动,但预处理单元对 COD 的去除率基本稳定在 45%~50%,出水 SS 在 300~600 mg/L 之间波动。

4.2.2 IC 厌氧单元

IC 厌氧反应器作为核心单元,其能否稳定运行直接决定了整体工艺的处理效果。在运行过程中严

格控制进水温度为 30~35 ℃,pH 值为 6.5~7.5,并适量投加碳酸氢钠控制 $\text{VFA}/\text{ALK} < 0.3$,投加尿素和磷酸二铵补充必要的氮、磷等营养元素,处理效果如图 3 所示。

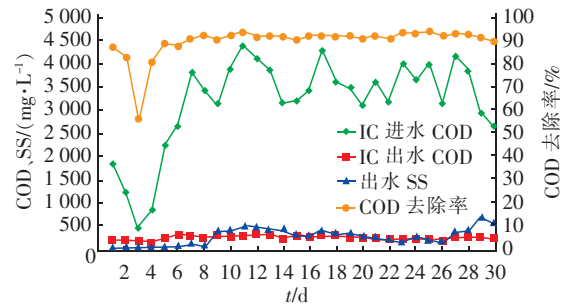


图 3 IC 厌氧单元 COD 处理效果

Fig.3 COD removal effect by IC unit

由图 3 可以看出,IC 运行稳定,虽然进水 COD 有一定波动,但 IC 出水 COD 基本稳定在 200~300 mg/L,对 COD 的去除率最高可达 90% 以上,出水的 $\text{SS} < 400 \text{ mg/L}$,基本与进水 SS 浓度相当。

4.2.3 好氧+过滤单元

由于 IC 处理出水水质较稳定,且废水可生化性也有所改善,故经两级好氧处理后的出水 COD 可基本稳定在 60 mg/L,再经砂滤后可满足排放标准。好氧单元对 COD 的去除率可达 70% 以上,具体如图 4 所示。

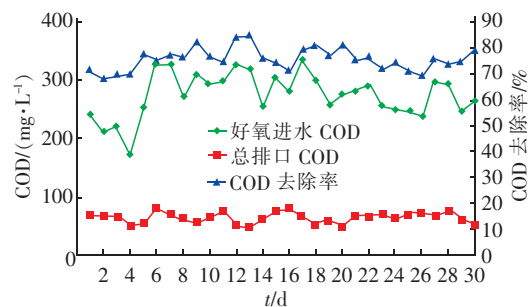


图 4 好氧+过滤单元 COD 处理效果

Fig.4 COD removal effect by aeration treatment and filter

4.3 技术经济分析

该工程建设投资为 425 万元,占地约 2 000 m^2 ,主要为半地上混凝土结构。运行费用主要包括电费、药剂费及人工费。耗电量约 2 784 $\text{kW} \cdot \text{h}/\text{d}$,电费为 1.85 元/ m^3 。药剂方面主要用于 pH 值的调节及补充氮、磷等营养元素,药剂费为 0.96 元/ m^3 。IC 反应器主要在冬季运行,需耗用约 40 t/d 的蒸汽用于 IC 的加热,运行费用约 0.5 元/ m^3 。

5 结论

① 采用 IC—曝气池—生物接触氧化工艺处理高浓度果汁生产废水具有良好的处理效果,预处理单元 COD 去除率为 50% 左右,IC 厌氧单元对 COD 的去除率高达 90% 以上,好氧主体工艺采用曝气池结合生物接触氧化工艺,COD 去除率达到 70%,出水水质可满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 排放标准。

② IC 作为核心单元,其稳定运行是保证系统处理效果的关键,应充分重视及发挥预处理的作用,严格控制 IC 进水无机质的含量,控制进水温度为 30~35℃,VFA/ALK<0.3 及 pH 值为 6.5~7.5。

③ 采用厌氧颗粒污泥启动 IC 厌氧反应器,调试时间大幅缩短,40 天即可实现 IC 满负荷运行。

of treatment of high-concentration organic wastewater from concentrated fruit juice production[J]. China Water & Wastewater, 2006, 22(24): 35-37 (in Chinese).

- [4] 吴俊峰,何亚丽,王现丽. 果汁生产废水处理站工艺设计实例[J]. 工业水处理, 2009, 29(7): 84-85.

Wu Junfeng, He Yali, Wang Xianli. Example of the process design for the wastewater treatment station of juice production[J]. Industrial Water Treatment, 2009, 29(7): 84-85 (in Chinese).

- [5] 陈秀珍,解岳,曾磊,等. 预处理—UASB—接触氧化工艺处理果汁生产废水工程调试与研究[J]. 工业水处理, 2010, 30(9): 76-78.

Chen Xiuzhen, Xie Yue, Zeng Lei, et al. Engineering debugging of juice wastewater treatment by pretreatment—UASB—contact oxidation technology [J]. Industrial Water Treatment, 2010, 30(9): 76-78 (in Chinese).

参考文献:

- [1] 潘安济,陈景光. 高浓度果汁加工废水处理工程实例[J]. 青岛大学学报:工程技术版, 2004, 19(2): 6-9.

Pan Anji, Chen Jingguang. Wastewater treatment engineering in syrup products [J]. Journal of Qingdao University: Engineering & Technology Edition, 2004, 19(2): 6-9 (in Chinese).

- [2] 梅拥军. 果汁废水处理研究进展[J]. 广东化工, 2010, 37(7): 214-216.

Mei Yongjun. Research development of juice wastewater treatment [J]. Guangdong Chemical Industry, 2010, 37(7): 214-216 (in Chinese).

- [3] 王立军,于德利,庞维珍,等. 浓缩苹果汁高浓度有机废水处理工程的改造[J]. 中国给水排水, 2006, 22(24): 35-37.

Wang Lijun, Yu Deli, Pang Weizhen, et al. Modification



作者简介:刘伟丽(1980—),女,吉林镇赉人,环境工程硕士,工程师,主要研究方向为高浓度有机废水的处理。

E-mail: 510755563@qq.com

收稿日期: 2019-09-28

坚持节水优先,强化水资源管理