

豆制品行业废水处理工程实例

张进福, 李瑞芳, 卢建波, 章 显, 张阳阳

(河南省绿韵环保科技有限公司, 河南郑州 450052)

[摘要] 某食品加工厂主要生产豆腐、豆皮和卤制豆干等豆制品, 生产废水排放量为 $500 \text{ m}^3/\text{d}$ 。该生产废水具有 COD、氨氮和悬浮物含量高, 渣滓多、易酸化和可生化性较好的特点。在废水处理过程中, 水质水量波动较大, 原水 COD 平均为 $9\,000 \text{ mg/L}$, BOD_5 为 $5\,400 \text{ mg/L}$, $\text{NH}_3\text{-N}$ 为 100 mg/L , SS 为 $2\,200 \text{ mg/L}$, pH 为 6~9。采用微滤+气浮+厌氧反应器+Bardenpho 工艺对该豆制品生产废水进行处理。经几个月的调试运行, 处理系统能达到良好的稳定运行状态, 对污染物的去除率高, 出水水质可达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 的一级排放标准要求。工程实践表明, 该工艺具有出水效果稳定可靠、吨水投资费用低的优点, 同时系统管理简单、易操作, 吨水运行费用低, 占地相对较少, 环境效益明显, 有较高的推广价值。产生的沼气可用于厂内锅炉, 无二次污染, 具有较好的经济与环境效益, 可为同类型废水处理提供一定借鉴。

[关键词] 豆制品; 生产废水; 厌氧反应器; Bardenpho

[中图分类号] X703 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1005-829X(2022)12-0170-04

Example of wastewater treatment project in soybean products industry

ZHANG Jinfu, LI Ruifang, LU Jianbo, ZHANG Xian, ZHANG Yangyang

(Henan Lvyun Environmental Protection Technology Co., Ltd., Zhengzhou 450052, China)

Abstract: A food plant mainly produces soybean products such as beancurd, skin of soybean milk and sauce pickled bean product, and the production wastewater discharge is $500 \text{ m}^3/\text{d}$. The production wastewater has the characteristics of high COD, high ammonia nitrogen and suspended solid content, many dregs, easy acidification and good biodegradability. During the wastewater treatment process, the water quality and quantity fluctuate greatly. The mass concentration of COD, BOD_5 , $\text{NH}_3\text{-N}$, SS and pH were $9\,000 \text{ mg/L}$, $5\,400 \text{ mg/L}$, 100 mg/L , $2\,200 \text{ mg/L}$ and 6-9, respectively. The microfiltration+air flotation+anaerobic reactor+Bardenpho process was used to treat the soybean production wastewater. After commissioning and operation, the system had reached a good and stable operation, with high removal rate of pollutants. The effluent quality could meet the requirements of first-class standard of Integrated Wastewater Discharge Standard (GB 8978—1996). Engineering practice showed that the process had the advantages of stable and reliable treatment effect, low investment cost, simple system management, easy operation, low operating cost, small area, obvious environmental benefits, which can be promoted. The biogas produced can be used in the boiler of plant without secondary pollution, which has good economic and environmental benefits. It provides some reference for the same type of wastewater treatment.

Key words: soybean product; wastewater; anaerobic reactor; Bardenpho

豆制品是我国人民经常食用的食品之一。某食品有限公司主要从事豆制品的生产加工, 废水日排放量为 500 m^3 , 其废水主要来源于食品原料的清洗浸泡废水、浆渣分离废水及设备清洗废水等。这些废水间歇性排放, 浓度高, COD、氨氮、B/C 高, 可生化性较好^[1-7]。20 世纪 80 年代已采用物化法+生化法处理该类废水,

其中生化法主要采用厌氧+好氧工艺, 或膜技术, 但缺少高效、价廉且占地少的工艺^[1]。笔者采用微滤+气浮+厌氧反应器+Bardenpho 工艺对该废水进行处理, 尾水排入附近污水深度处理系统, 出水水质要求满足《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 中规定的一级排放标准要求。

1 设计进出水水质

该工程处理规模为 $500 \text{ m}^3/\text{d}$, 24 h 不间断运行, 出水执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 一级排放标准。设计进水水质及出水标准见表 1。

表 1 进出水水质

Table 1 Inlet and outlet water quality				
项目	COD/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	BOD ₅ /($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	SS/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	NH ₃ -N/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
进水	8 000~9 500	4 200~5 800	1 000~2 500	100~200
出水	≤100	≤20	≤70	≤15

2 工艺流程

根据豆制品行业的水处理工程经验及运行效果^[1-6], 结合该工程的水质水量及标准要求, 确定采用微滤+气浮+混凝沉淀+厌氧反应器+Bardenpho 工艺。

豆制品废水中的豆皮、豆渣、碎豆腐皮等渣滓较多, 易酸化, 故首先采用格栅去除水中的大颗粒污染物, 随后进入调节池, 对污水进行均质均量。用泵将调节池污水提升至微滤机, 经微滤机拦截后的污水自流入气浮机, 主要去除水中悬浮的油脂, 然后自流入混凝沉淀池, 进一步去除水中的细小悬浮物。格栅及微滤机拦截的浮渣外运处置。

混凝沉淀池出水自流入中间水池, 因该污水易酸化, 在中间水池设有碱液投加装置以调节污水 pH, 并设有蒸汽加热系统, 提升污水水温至 $35 \sim 38 \text{ }^{\circ}\text{C}$, 之后由泵提升至厌氧反应器内。豆制品废水的有机物含量高, B/C 较高, 易生化, 故选用厌氧反应器; 进水中的有机物与颗粒污泥和气液分离区回流的泥水混合物在混合区混合, 形成的混合物进入厌氧区, 在高浓度污泥作用下, 大部分有机物被降解并转化为沼气。厌氧区处理后的废水除一部分被沼气提升至顶部的固液分离处外, 其余都通过三相分离器进入沉淀区进行固液分离, 上清液由出水系统排走, 沉淀的污泥由排泥系统排出反应器外。

因废水 BOD₅/TN 较高, 且碳源充足, 宜采用 Bardenpho 工艺。Bardenpho 工艺为缺氧池+好氧池+缺氧池+好氧池(A1+O1+A2+O2)。好氧池根据亚硝酸菌适应的条件, 通过控制溶解氧、pH、污泥龄, 将 NH₃-N 硝化至 NO₂⁻; 在好氧池内设置回流泵, O1 池混合液回流至 A1 池, O2 池混合液回流至 A1 池及 A2 池, 利用来水碳源进行反硝化脱氮, 实现污水净化处

理。工艺流程见图 1。

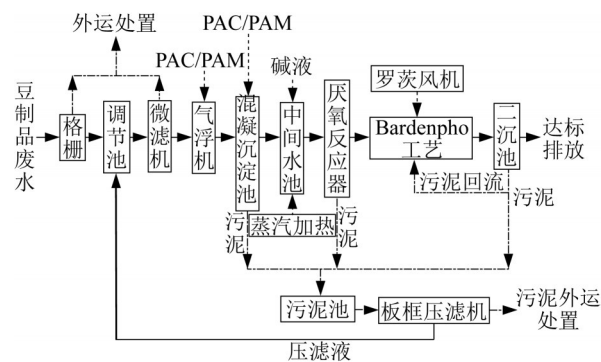


图 1 废水处理工艺流程

Fig. 1 Process flow of wastewater treatment

3 主要构筑物及设计参数

(1) 格栅渠。尺寸为 $2.0 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$, 钢砼结构, 地下式, 1 座。采用机械中格栅, 不锈钢材质, 格栅宽 0.5 m , 栅条间距为 10 mm , 功率为 0.75 kW 。

(2) 调节池。尺寸为 $7.0 \text{ m} \times 7.0 \text{ m} \times 5.0 \text{ m}$, 钢砼结构, 地下式, 1 座, 有效水深 3.8 m , 有效容积 186 m^3 , 停留时间 8.9 h 。设提升泵 2 台, 1 用 1 备, 流量 $25 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程 15 m , 功率 3 kW 。池底部设有穿孔曝气管, 与好氧池共用风机。

(3) 微滤机。碳钢防腐结构, 地上式。尺寸为 $D 1.0 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$, 1 台。过滤面积 5 m^2 , 滚筒转速 5 r/min , 功率 1.1 kW 。

(4) 气浮机。碳钢防腐结构, 地上式, 尺寸为 $4.65 \text{ m} \times 2.95 \text{ m} \times 2.48 \text{ m}$, 1 台。溶气水量 $6 \text{ m}^3/\text{h}$, 总停留时间 0.8 h , 水力表面负荷为 $3.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 功率 7.5 kW 。配套溶气罐规格 $D 0.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$; 配套空压机, 排气量 0.14 m^3 , 压力 0.7 MPa 。设置 PAC 加药装置 1 套, 投加量 50 mg/L , 功率 0.75 kW 。设置 PAM 加药装置 1 套, 投加量 3 mg/L , 功率 0.75 kW 。

(5) 混凝沉淀池。尺寸为 $12.0 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$, 钢砼结构, 半地上式, 1 座。总有效容积 93 m^3 , 停留时间 4.5 h 。设置 PAC 加药装置 1 套, 投加量 50 mg/L , 功率 0.75 kW 。设置 PAM 加药装置 1 套, 投加量 3 mg/L , 功率 0.75 kW 。

(6) 中间水池。尺寸为 $12.0 \text{ m} \times 2.5 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$, 钢砼结构, 半地上式, 1 座。总有效容积 90 m^3 , 停留时间 4.3 h 。设潜污泵 4 台, 2 用 2 备, 流量 $10 \text{ m}^3/\text{h}$, 扬程 10 m , 功率 0.75 kW 。池内设有蒸汽加热装置, 配套温控系统。设置碱液加药装置 1 套, 功率 0.75 kW 。

设置潜水推流器 1 台, 功率 0.85 kW, 叶片直径 0.26 m。

(7) 厌氧反应器。碳钢防腐结构, 地上式, 单个尺寸 D 7.15 m $\times$ 8.5 m, 2 座。有效容积 682 m³, 停留时间 32.7 h, COD 容积负荷 3.12 kg/(m³·d)。进水设有电磁流量计, 底部设置穿孔管布水器, 顶部设三相分离器、水封罐。沼气经脱硫后燃烧。设循环泵 4 台, 2 用 2 备, 流量为 25 m³/h, 扬程 8 m, 功率 1.5 kW。

(8) Bardenpho 工艺池。钢砼结构, 地下式, 尺寸为 28.5 m $\times$ 7.3 m $\times$ 5.5 m。有效容积 1 040.2 m³, 分缺氧区和好氧区, 缺氧区容积 350 m³, 好氧区容积 690.235 m³。水力停留时间 49.9 h, 单位 MLSS 污泥负荷(以 COD 计)为 0.192 kg/(kg·d)。缺氧区内设潜水推流器 4 台, 功率 1.5 kW, 叶片直径 0.26 m。好氧区内设曝气器 280 套, 罗茨风机 3 台, 2 用 1 备, 风量为 5.56 m³/min, 风压为 55 kPa, 功率为 11 kW。设回流泵 4 台, 2 用 2 备, 流量 40 m³/h, 扬程 10 m, 功率 2.2 kW。

(9) 二沉池。尺寸为 5.5 m $\times$ 5.0 m $\times$ 5.5 m, 钢砼结构, 地下式, 1 座, 表面负荷 0.76 m³/(m²·h)。设污泥回流泵 2 台, 1 用 1 备, 流量 30 m³/h, 扬程 15 m, 功率 3 kW。

(10) 污泥池。尺寸为 4.0 m $\times$ 4.0 m $\times$ 5.0 m, 钢砼结构, 地下式, 1 座, 有效容积 62.5 m³。设潜水推流器 1 台, 叶片直径 0.34 m, 功率 1.5 kW。设提升泵 2 台, 1 用 1 备, 流量为 25 m³/h, 扬程 10 m, 功率 1.5 kW。

(11) 设备间。1 座, 砖混结构, 尺寸为 16.0 m $\times$ 5.0 m $\times$ 3.5 m。放置微滤机、气浮机、罗茨风机、加药装置、化验仪器、配电柜。板框压滤机 1 套, 过滤面积 30 m², 功率 7.5 kW。

4 处理效果及分析

该项目于 2019 年 12 月建设, 建设完毕后调试运行 2 个月, 系统运行稳定, 出水清澈。各项指标满足《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 规定的一级排放标准要求, 如表 2 所示。

表 2 工程运行监测结果

Table 2 Monitoring results of project operation

项目	COD/ (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	NH ₃ -N/ (mg·L ⁻¹)	SS/(mg·L ⁻¹)
原水	8 000~9 500	4 200~5 800	100~200	1 000~2 500
预处理	5 200~6 175	3 200~4 640	98~196	200~500
厌氧反应器	832~988	352.8~371.2	93.1~186.2	200~500
Bardenpho 工艺	83.2~98.8	17.6~18.56	9.31~14.6	40~97

由表 2 可见, 该工艺对废水中的 COD、BOD₅、NH₃-N 的去除率达到 99%、99%、91%, 去除效率高。

5 经济分析

该工程总投资 567.277 万元, 包括构(建)筑物投资 320.355 万元、主要设备投资 193.472 万元; 设计费、调试费、税费、运输等间接投资 53.45 万元。污水处理系统 24 h 运行, 站长 1 人, 负责整体运行及技术; 分为 2 班, 每班 2 人, 负责系统的运行与管理, 兼职化验检测。运行成本主要包括: 电费 1.19 元/t; 人工费约 3 500 元/(人·月), 折合 1.17 元/t; 使用 PAC 约 50 kg/d, PAM 约 3 kg/d, 片碱约 50 kg/d, 药剂费合计 0.78 元/t。运行费用总计 3.14 元/t。

6 结论

豆制品废水处理过程中水质水量波动较大, 有机污染物浓度高, 悬浮物含量高, 可生化性较好。工程实践表明, 经微滤+气浮+混凝沉淀+厌氧反应器+Bardenpho 工艺处理后出水达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996) 中规定的一级排放标准要求。

该工艺具有出水效果稳定可靠, 投资费用低, COD 去除率高的优点, 同时处理系统管理简单、易操作, 占地相对较少, 环境效益较好, 有较高的推广价值。

此外, 厌氧反应器在处理污水过程中约产生 879 m³/d 沼气, 处理后可用于中间水池加热及生产车间使用, 节约能源, 具有较高的经济价值。

参考文献

- [1] 王延林, 孙启康, 杨贞建, 等. 豆制品废水处理工艺探讨[J]. 工业水处理, 2021, 41(10): 14-21.
WANG Yanlin, SUN Qikang, YANG Zhenjian, et al. Discussion of the treatment technology of soybean wastewater [J]. Industrial Water Treatment, 2021, 41(10): 14-21.
- [2] 尤鑫, 刘海燕, 邹磊, 等. 豆制品废水处理工程设计实例及分析[J]. 中国给水排水, 2019, 35(4): 106-108.
YOU Xin, LIU Haiyan, ZOU Lei, et al. Design and analysis of a soybean wastewater treatment project [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(4): 106-108.
- [3] 李林, 李小明. 豆制品废水处理工程[J]. 给水排水, 2008, 34(9): 64-66.
LI Lin, LI Xiaoming. Soybean products wastewater treatment project [J]. Water & Wastewater Engineering, 2008, 34(9): 64-66.
- [4] 李宁, 陈云翔, 姜涛, 等. 豆制品废水处理工程实例[J]. 中国给水排水, 2011, 27(10): 79-81.

- LI Ning, CHEN Yunxiang, JIANG Tao, et al. Engineering case on treatment of bean product wastewater[J]. China Water & Wastewater, 2011, 27(10): 79-81.
- [5] 朱乐辉, 程鹏, 邱俊, 等. UASB 处理高浓度有机食品废水运行特性研究[J]. 工业水处理, 2010, 30(10): 70-72.
- ZHU Lehui, CHENG Peng, QIU Jun, et al. Research on the operation characteristics of treating wastewater from organic food production by using UASB[J]. Industrial Water Treatment, 2010, 30(10): 70-72.
- [6] 齐斌, 靳娜, 王景. 豆类加工废水处理实践及运行[J]. 环境科技, 2010, 23(6): 28-30.
- QI Bin, JIN Na, WANG Jing. Practice and operation of treatment of soybean wastewater[J]. Environmental Science and Technology, 2010, 23(6): 28-30.
- [7] 韩冬妮. UASB+双级好氧生物工艺处理豆奶制品废水[J]. 环境科技, 2011, 24(6): 45-47.
- HAN Dongni. UASB + two stage aerobic biological process for treatment of wastewater from milk products[J]. Environmental Science and Technology, 2011, 24(6): 45-47.
-
- [作者简介] 张进福(1983—), 高级工程师。电话: 18134730883, E-mail: fuwork@163.com。通讯作者: 李瑞芳, 工程师, E-mail: 1160604737@qq.com。
- [收稿日期] 2022-10-18(修改稿)
-
- *****
- (上接第 105 页)
- [7] 李娟英, 胡谦, 陈美娜, 等. 抗生素类污染物对硝化污泥的生物抑制[J]. 环境工程学报, 2015, 9(7): 3325-3331.
- LI Juanying, HU Qian, CHEN Meina, et al. Inhibition of selected antibiotics on nitrifying sludge[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015, 9(7): 3325-3331.
- [8] HENRIQUES I D S, LOVE N G. The role of extracellular polymeric substances in the toxicity response of activated sludge bacteria to chemical toxins[J]. Water Research, 2007, 41(18): 4177-4185.
- [9] 梁斌, 冯世敏, 张永明. 好氧与厌氧交替加速 2,4,6-三氯酚的生物降解[J]. 环境工程, 2021, 39(11): 83-88.
- LIANG Bin, FENG Shimin, ZHANG Yongming. Acceleration of 2,4,6-trichlorophenol biodegradation through aerobic and anaerobic condition alternation[J]. Environmental Engineering, 2021, 39(11): 83-88.
- [10] SHANG Haitao, YANG Qi, ZHANG Yang. Kinetic models of dichloroethylene biodegradation by two strains of aerobic bacteria[J]. Biomedical and Environmental Sciences, 2011, 24(3): 261-267.
- [11] 陈波水, 孙霞, 黄伟九, 等. 基于指数速率模型的润滑油生物降解动力学研究[J]. 石油化工, 2010, 39(4): 454-457.
- CHEN Boshui, SUN Xia, HUANG Weijiu, et al. Kinetics of lubricating oil biodegradation based on exponential rate model[J]. Petrochemical Technology, 2010, 39(4): 454-457.
- [12] 高永宝, 高菲, 吴鹏, 等. 甲烷氯化物好氧微生物降解动力学[J]. 武汉工程大学学报, 2014, 36(2): 20-24.
- GAO Yongbao, GAO Fei, WU Peng, et al. Kinetics of methane chlorides degradation by aerobic microorganism [J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2014, 36(2): 20-24.
- [13] 高廷耀, 顾国维. 水污染控制工程(下册)[M]. 2版. 北京: 高等教育出版, 2004: 68-72.
- GAO Yanyao, GU Guowei. Water pollution control project [M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2004: 68-72.
- [14] 王艳青, 张劲松, 周集体, 等. 对氨基苯磺酸生物降解动力学及降解机制研究[J]. 环境科学, 2009, 30(7): 2136-2141.
- WANG Yanqing, ZHANG Jinsong, ZHOU Jiti, et al. Kinetics and mechanism of 4-aminobenzenesulphonate biodegradation [J]. Environmental Science, 2009, 30(7): 2136-2141.
- [15] SAVAGE K N, KRUMHOLZ L R, GIEG L M, et al. Biodegradation of low-molecular-weight alkanes under mesophilic, sulfate-reducing conditions: Metabolic intermediates and community patterns[J]. FEMS Microbiology Ecology, 2010, 72(3): 485-495.
- [16] ATTARIAN P, MOKHTARANI N. Comparison of co-metabolic and direct metabolic biodegradation of MTBE: Monitoring main intermediates and SBR stable operation[J]. Environmental Technology & Innovation, 2021, 22: 101475.
-
- [作者简介] 关莹(1988—), 硕士研究生, 讲师。电话: 025-86496518, E-mail: 664820281@qq.com。
- [收稿日期] 2022-11-17(修改稿)