

某食品加工企业污水处理 工程改造设计应用研究

曾勇辉, 方辽卫, 张龙龙

(欧基(上海)环保科技有限公司, 上海 201600)

摘要 某食品加工企业污水处理原设计为 50 m³/d, 采用气浮 + 厌氧生物接触工艺 + 好接触氧化工艺串联组合工艺, 实际日处理水量达到 200 m³/d, 处理出水 COD_{cr}1 000 mg/L、BOD₅450 mg/L、NH₃-N200 mg/L、TN210 mg/L、TP9 mg/L、SS200 mg/L, 出水水质达不到排放要求, 在利用原工艺流程和池容的条件下对厌氧生物接触工艺新增沉淀池和内外回流以及各过水洞的核算改造, 同时对好氧生物接触氧化工艺的沉淀池和内外回流以及各过水洞的核算改造; 改造完后实际处理出水水质接近《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)一级 B 标准, 稳定达标后核算处理费用为 5.65 元/t。

关键词 环境工程; 污水处理工程; 气浮; 厌氧生物接触工艺; 好氧生物接触氧化

中图分类号: X7

文献标志码: A

文章编号: 2097-3365(2024)10-0103-03

豆腐在加工生产过程中会产生大量的含有高 COD、高氨氮、高总氮、高总磷和高 SS 的“五高”污水; 若直排环境中, 会引发自然水体发黑、发臭等污染事件, 因此对豆腐废水的有效处理有利于促进经济发展和改善生态环境。常用的豆腐废水处理工艺流程根据排放要求不同预处理通常采用气浮或者混凝沉淀去除废水中的悬浮物; 厌氧处理通常采用水解酸化工艺、厌氧 CSTR^[1-2]、UASB 工艺、IC 工艺等; 经过厌氧处理后污水通常不能达标排放, 后续采用好氧处理才能达标排放, 好氧工艺通常采用生物膜工艺、A/O 系列工艺、SBR 系列工艺、氧化沟系类工艺等; 深度处理通常采用混凝沉淀、气浮等处理工艺。

1 工程概况

该食品加工企业是当地豆腐生产、加工及销售为一体的龙头民营企业, 在洗豆、浸泡、磨浆等加工过程中产生大量的高浓度有机污水, 污水中含有淀粉、

蛋白质、脂肪、氨基酸、糖类等有机物, 具有悬浮物和溶解性污染物浓度高、波动大、可生物降解性好、有毒有害物少^[3]等特点。

工程原设计规模为 50 m³, 实际进水量逐渐达到 200 m³/d, 水量的加大, 所有指标超标, 具体数据见表 1, 业主单位提出改造要求: 在不得改变工艺流程、不得改变原有布局的前提下改造。因本工程的排放要求为纳管排放标准, 故没有后续深度处理。

2 工艺设计

根据豆制品行业的水处理工程经验及运行效果^[4], 为响应业主提出的改造要求, 处理工艺流程和总池容利旧, 即处理工艺流程: 人工格栅→调节池→气浮→厌氧接触法→好氧生物接触氧化工艺→竖流沉淀池→达标出水, 出水进入下一级市政污水处理厂进一步处理。

2.1 污水水质水量

设计处理水量 200 m³/d, 设计水质见表 2。

表 1 改造前各构筑物处理出水水质

项目	调节池出水	气浮	厌氧生物接触工艺	好氧生物接触氧化	沉淀池
COD _{cr} (mg/L)	17 000	13 000	8 000	1 050	1 000
BOD ₅ (mg/L)	8 500	6 000	4 000	510	500
氨氮(mg/L)	200	200	280	250	250
TN(mg/L)	299	299	299	280	280
TP(mg/L)	14	12	10	8	8
SS(mg/L)	1 300	500	1 000	4 000	800
pH(无量纲)	7-8	7-8	7-8	7-8	7-8

表2 设计进、出水水质

项目	设计进水	设计出水
COD _{cr} (mg/L)	17 000	500
BOD ₅ (mg/L)	8 500	350
氨氮(mg/L)	200	45
总氮(mg/L)	299	70
总磷(mg/L)	14	8
SS(mg/L)	1 300	400
pH值	6-9	6-9

2.2 工艺设计说明

进水 BOD₅/COD_{cr} ≈ 0.5, 可生化很好, 因其原设计池容小, 出水达不到排放要求, 需要改造。

1. 调节池: 具有均匀调节水质水量, 存盈补亏的功能。

2. 加压溶气工艺: 污水经过调节池均化水质水量后进入气浮^[5], 投加 PAC 和阴离子 PAM, 在 (3.5 ~ 3.8) × 10⁵ Pa 的空气压力下, 从释放器中释放, 微小气泡附着在絮体上, 通过改变絮体密度的方式上浮到水面, 刮渣板刮出, 进水中 SS 去除 90% 以上, 避免大量 SS 进入下一级, 破坏后续处理的稳定性。

3. 厌氧生物接触工艺: 污水进入完全混合池内利用兼性厌氧微生物和专性厌氧微生物将有机物分解为 CH₄、CO₂ 和 H₂O 的过程, 本工艺是组合填料、沉淀池和回流系统密切组合, 起到强化处理效果的作用。工艺成熟、造价便宜、处理效果较好。

4. 好氧生物接触氧化工艺: 介于活性污泥法与生物滤池之间的生物膜法工艺, 其特点是在曝气池内设置组合填料、沉淀池和回流系统、池底曝气对污水进行充氧, 并使池体内污水处于流动状态, 以保证污水与工艺中的填料上微生物充分接触, 创造出污泥停留时间大于水力停留时间的特点, 生物膜同时存在厌氧、缺氧、好氧的三个环境相结合, 起到强化处理效果的作用。

5. 沉淀池: 活性污泥的密度约为 1.006 ~ 1.012 t/m³, 略大于水, 沉淀池的功能是利用污泥重力沉降作用在沉淀池底部起到浓缩作用的构筑物, 有利于下降沉淀池污泥回流量和上清液排出的功能, 避免污泥流失。

3 主要构筑物原设计参数

1. 人工格栅: 过流速度 0.5 m/s, 安装角度 75°。
2. 调节池: 尺寸为 8×4×3 m, 有效水深 2.5 m。潜水泵型号 25QW8-22-1.1。
3. 气浮: 成套设备, 处理能力 10 m³/h, 日处理量

240 m³/d, 功率 9 kW·h。

4. 厌氧生物接触工艺: 钢筋混凝土结构, 6×4×5.5 m, 有效水深 5 m, 四格串联, 池容 450 m³, 没有内外回流和沉淀池。

5. 好氧生物接触氧化工艺: 钢筋混凝土结构, 尺寸 5×5×5.3 m (有效水深 4.8 m), 三格串联, 池容 360 m³。没有内回流, 没有在线或便携式溶解氧仪器。

6. 竖流沉淀池: 现场 3 座 4×2 m 钢筋混凝土结构沉淀池, 长方形沉淀池设计成单泥斗, 每个泥斗 1 台型号 25QW8-22-1.1 污泥回流泵, 合计 3 台。

7. 风机: 风机型号 LBSR125, 9 m³/min, 58.8 kpa, 功率 11 kW, 一备一用。

8. 叠螺机: HDL301, 尺寸: L3 850×W1 000×H2 050 (mm), 总功率 2.25 kW, 处理量 DS30-75 kg/h。

4 本工程原设计存在的问题

1. 厌氧接触工艺没有沉淀池, 致使反应器末端的水解酸化的污泥流失, 造成污泥负荷高, 影响处理效果。

2. 厌氧接触工艺没有内外回流, 导致前端有机物浓度高, 高浓度下前端的填料上附着的微生物不适应环境而淘汰, 致使经过处理出水 COD 浓度高达 8 000 mg/L, 出现出黑水的情况。

3. 厌氧接触工艺出水中含有大量发黑悬浮物, 导致好氧接触氧化工艺的活性污泥溶解氧低、SVI 高、污泥浓度持续上涨、污泥发黑等系统恶化现象致使处理效果差, 整个现场进入无限的死循环中。

4. 好氧接触氧化工艺没有内回流, 导致处理效果差; 曝气不均匀, 存在曝气器破裂的现象; 没有在线或便携式溶解氧仪器。

5. 沉淀池在运行过程中污泥界面上升快, 查看图纸得知长方形的沉淀池, 底部仅为 1 个泥斗, 存在大面积的沉淀死角。

5 改造设计思路

综上所述, 实际水量比设计水量大 3 倍, 当前核心生化工艺的停留时间仅为原设计的 1/3, 水力停留时间不足, 导致处理效果差。业主要求和排水要求都比较高, 所以如何提高核心工艺的处理效果才是本次改造的重中之重。

1. 人工格栅: 利旧。
2. 调节池: 水利停留时间 9.6 h, 满足要求, 利旧。
3. 气浮: 利旧。
4. 厌氧生物接触工艺: 第三个厌氧生物接触工艺池末端新增 2 台型号为 QW65-25-15-2.2 混合液回流泵,

一备一用，最后一个接触氧化池改造为沉淀池，沉淀池新增 1 台型号为 QW65-25-15-2.2 的污泥回流泵；厌氧生物接触工艺池容剩余 360 m³，水力停留时间为 43 h，预计出水 COD_{cr} ≤ 4 000 mg/L，比改造前处理效果提升了 50%。

5. 好氧生物接触氧化工艺：按 COD 容积负荷 1.2 kgCOD/(m³·d) 核算池容需要 666 m³ 池容，实际只有 360 m³，负差距 45%，水力停留时间为 43 h，预计的容积负荷达到 2.2 kgCOD/(m³·d)；按 COD 污泥负荷 0.25 kaCOD/(kgMLSS·d)、计算出污泥浓度：200×4 000÷360÷0.25=8 888.89 ≈ 9 kg/m³。

新增 2 台型号为 QW65-25-15-2.2 的混合液回流泵；一备一用；原曝气池曝气不均匀，全部更换，更换后的曝气器间距改为 0.35×0.35 m；曝气器水平精度为 ± 3 mm；现场没有溶解氧仪器，采购 1 台便携式溶解氧仪，定时测各池的溶解氧。

6. 竖流沉淀池：表面负荷为 0.347 m³/(m²·h)，具备承受好氧接触氧化工艺的高污泥浓度运行。原设

计沉淀池为单泥斗，改造设计为 2 个泥斗，每个泥斗新增 1 台型号为 QW65-25-15-2.2 污泥回流泵，合计 6 台污泥回流泵。

7. 风机：利旧。

8. 叠螺机：利旧。

6 经济分析

1. 本工程改造投资合计为 20 万元，包含曝气器采购和安装、两个工艺的内外回流、沉淀池土建等。

2. 吨水费用核算：运行功率平均功率 40.9 kW，平均功率电费按 0.6 元，日电费 589 元，处理量 200 m³/d，吨水电费为 2.95 元，吨水药剂费用 2.7 元。比其他同类污水^[6] 高约 2 元，根源在于其原水 COD_{cr} 比本工程的浓度低 50% 以上的浓度。

7 改造后实际运行效果

本污水处理改造工程实际运行效果见表 3。

8 结论与建议

1. 本豆腐污水处理工程属于高浓度有机工业污水，

表 3 各工艺实际进、出水水质及去除率数据

工艺名称	COD _{cr} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	氨氮(mg/L)	总氮(mg/L)	总磷(mg/L)	SS(mg/L)
调节池出水	17 000	8 500	200	299	14	1 300
气浮	12 000	6 000	200	299	12	500
去除率(%)	29.41	29.41	0.00	0.00	14.29	61.54
厌氧生物接触工艺	3 600	1 800	250	280	8	300
去除率(%)	70	70	-25	6.35	33.33	40
好氧生物接触氧化	60	15	4	20	4	/
去除率(%)	98.33	99.17	98.4	92.86	50	/
沉淀池	48	10	3	15	3	10
去除率(%)	20	33.33	25	25	25	96.67

可生化性好；采用气浮投加混凝剂和絮凝剂对 SS 去除效果很好，占地面积少。

2. 厌氧生物接触工艺经过改造后，其去除率比原设计提高了 50% 以上，容积负荷为 6.67 kgCOD/(m³·d)，去除的容积负荷为 4.67 kgCOD/(m³·d)。

3. 好氧生物接触氧化工艺经过改造后，出水水质堪比《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002) 一级 B 标准，远优于原设计的《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T31962-2015) 排放标准。

参考文献：

- [1] 史书利. CSTR 处理低浓度豆腐废水的启动研究 [J]. 中国沼气, 2024, 42(02): 68-72.
- [2] 改进型 CSTR 处理豆腐废水的实验研究 [J]. 云南师范大学学报(自然科学版), 2024, 44(03): 1-3.
- [3] 罗俊晖. 豆制品废水处理工程设计 [J]. 广东化工, 2023, 22(50): 76-78.
- [4] 张进福. 豆制品行业废水处理工程实例 [J]. 工业水处理, 2022(12): 170-173.
- [5] 刘春晓. 气浮-ABR-生物接触氧化组合工艺处理豆制品废水 [J]. 水处理技术, 2022, 48(01): 118-121, 125.
- [6] 同 [4].