



高氮磷有机食品废水处理工程实例分析

孙理密¹, 翟纪学², 张德清³, 孙翔宇⁴, 朱 丽⁴

(1. 山东建筑大学热能工程学院, 山东济南 250101; 2. 山东建大教育置业有限公司, 山东济南 250101; 3. 山东水发鲁润水务科技有限公司, 山东济南 250014; 4. 山东建筑大学市政与环境工程学院, 山东济南 250101)

[摘要] 介绍了山东某食品公司高氮磷有机食品废水处理工程实例以及工艺特色, 根据废水特点采用“絮凝初沉池+UASB+缺氧池+射流曝气池+絮凝终沉池”作为主处理工艺, 主要处理构筑物均采用较长的水力停留时间(HRT)和较低的容积负荷, UASB的HRT为108 h、COD容积负荷为 $2.05 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$, A/O系统总HRT为62.4 h, 初沉池和二沉池均采用较低的表面负荷, 分别为 $0.43 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 和 $0.525 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 引入 $200 \text{ m}^3/\text{h}$ 的原废水作为缺氧池反硝化脱氮的外加补充碳源。工程运行实践表明系统处理效果较好, 对COD、BOD₅、SS、NH₃-N、TN、TP的总去除率分别为99.5%、99.5%、98.0%、99.4%、93.1%、99.2%, 处理出水水质COD、BOD₅、SS、NH₃-N、TN、TP分别为48、15、61、1.0、18、0.8 mg/L, 满足《山东省南水北调沿线水污染排放标准》(DB 37/599—2006)一般保护区及修改单的要求, 处理成本为2.88元/m³。

[关键词] 食品废水; UASB; A/O系统

[中图分类号] X703 **[文献标识码]** B **[文章编号]** 1005-829X(2022)01-0171-04

A treatment project case of organic food wastewater with high concentrations of nitrogen and phosphorus compounds

SUN Limi¹, ZHAI Jixue², ZHANG Deqing³, SUN Xiangyu⁴, ZHU Li⁴

(1. School of Thermal Engineering, Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250101, China;
2. Shandong Jianda Education Real Estate Co., Ltd., Ji'nan 250101, China;
3. Shandong Shuifa Lurun Water Technology Co., Ltd., Ji'nan 250014, China;
4. School of Municipal and Environmental Engineering, Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250101, China)

Abstract: A project case and its process characteristics on treating one organic food wastewater with high nitrogen and phosphorus load in a food company in Shandong Province was introduced. According to the characteristics of the raw wastewater, the main treatment process was chosen as primary settling tank with flocculation-UASB-jet aeration tank-final settling tank with flocculation. The main treatment facilities were designed with longer hydraulic retention time and lower volume load: HRT of 108 h and COD volume load of $2.05 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ for UASB, total residence time of 62.4 h for A/O system, lower surface loads of $0.43 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ and $0.525 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ for primary and final settling tanks, respectively. A branch of the raw wastewater at a flow rate of $200 \text{ m}^3/\text{h}$ was introduced as additional carbon source for denitrification in the anoxic tank. The practical run of the system performed efficient treatment, and the total removal rates of COD, BOD₅, SS, NH₃-N, TN, TP were 99.5%, 99.5%, 98.0%, 99.4%, 93.1%, 99.2%, respectively. The effluent concentrations of COD, BOD₅, SS, NH₃-N, TN, TP were 48, 15, 61, 1.0, 18, 0.8 mg/L, respectively, which met the requirements of “Water Pollution Discharge Standard of Shandong Province Along the South-to-North Water Transfer Project” (DB 37/599—2006) in general conservation areas. The capital cost of the treatment was 2.88 yuan/m³.

Key words: food wastewater; UASB; A/O system

食品工业废水是水污染的重要排放源, 主要特点是排放量大、富含有机物和大量悬浮物、BOD较

高^[1], 其中有些以豆类为原料的食品行业, 由于豆类原材料含有较高的特征物质——氮和磷, 其加工过程

中产生的废水水质特点为BOD、COD、TN、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP的质量浓度均较高,属于高浓度可生化性较好的有机废水^[2],从氮磷指标达标要求角度比一般食品废水难处理^[3]。食品工业废水对人体的危害虽然不及其他含有毒有害物质的工业废水大,但却有较多的耗氧有机物,排入水体将导致富营养化或黑臭现象^[2,4]。食品废水治理的工程案例非常多,但对于含有高浓度的氮磷、COD和SS的豆制品废水工程实例报道的并不多,已有工程实例一般均采用厌氧(水解酸化)与好氧结合(A/O)的组合技术^[5-10],但采用的具体的厌氧和好氧工艺有很大差异,如厌氧有的采用升流式厌氧污泥床(UASB)、水解酸化、厌氧折流板反应器(ABR)等,好氧工艺选择的有活性污泥、生物接触氧化以及生物滤池等。设计、运行较好的工程案例对于行业水污染防治有重要的参考价值。鉴于此,笔者以山东某食品公司废水工程为例,详细分析其工艺流程及特色、构筑物设计要点及运行效果分析,以为同行业废水治理提供一定的指导和借鉴。

1 废水处理规模、设计水质及排放要求

山东某食品公司废水属于高氮磷、高COD的有机废水,公司主要采用各种豆类原料生产豆沙系列产品,生产废水中含有大量的植物蛋白、淀粉、糖类、磷化合物和悬浮物,毒性一般。废水处理工程于2018年建成投产,目前运行稳定,效果良好。

废水处理规模 Q_d 为 $1\,000\text{ m}^3/\text{d}$, $Q_h=41.7\text{ m}^3/\text{h}$ 。设计水质见表1。该废水特点是COD、 BOD_5 、TN和TP浓度高,特别是TP远高于一般的食品废水,处理出水需满足《山东省南水北调沿线水污染排放标准》即(DB 37/599—2006)一般保护区域标准及修改单要求。

表1 设计进水水质和排放要求

Table 1 Design influent and effluent quality

水质指标	pH	COD	BOD_5	SS	TP	$\text{NH}_3\text{-N}$	TN*
设计进水水质	6~9	10 000	3 000	3 000	100	160	260
排放要求	6~9	≤ 100	≤ 20	≤ 70	≤ 1.0	≤ 15	≤ 20

注:除pH外,其余水质指标均为 mg/L ;*:2020年1月1日起执行(DB 37/599—2006)第Ⅲ时段标准。

2 废水处理工艺设计及主要构筑物和设备参数

2.1 废水处理工艺设计

废水处理采用“UASB+A/O+絮凝沉淀”深度处

理组合工艺,具体见图1。

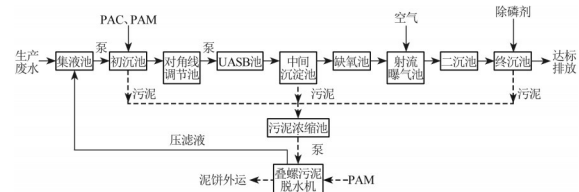


图1 废水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of waste water treatment process

水中悬浮物浓度较高,但颗粒粒径小,进集液池前只设一道人工清理粗格栅。该工艺流程相对简单,占地面积少,且对水质、水量波动的适应性较好,厌氧采用的UASB工艺为第二代厌氧反应器,技术成熟,能耗较低^[5-6],好氧曝气(O池)采用“射流器”,氧的利用率高。

2.2 主要构筑物及设备参数

(1)集液池。主要功能是收集、存储各车间排放的废水并进行提升。构筑物为1座地下式钢砼结构,外观尺寸 $L\times W\times H=11.0\text{ m}\times 5.0\text{ m}\times 4.3\text{ m}$,池体 $V_{\text{有效}}=110\text{ m}^3$, $V_{\text{总}}=236.5\text{ m}^3$;HRT为2.6 h;设置提升泵(上海凯泉,80WQ/D261-3.0)2台,1用1备,流量 $Q=45\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 $H=13\text{ m}$ 。

(2)初沉池。采用絮凝平流式,主要功能是去除废水中的悬浮物、漂浮物等颗粒物质,满足UASB对进水水质的要求。构筑物为1座平流式半地上式钢砼结构,池体尺寸 $L\times W\times H=24.4\text{ m}\times 4.0\text{ m}\times 9.0\text{ m}$,容积 $V_{\text{有效}}=480\text{ m}^3$, $V_{\text{总}}=878\text{ m}^3$,表面负荷为 $0.43\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$,有效水深为5.0 m,HRT=17.8 h;配置2套PAC和PAM制备及计量投加系统(PE材质),PAC和PAM的投加量为 1.0 kg/t 和 0.002 kg/t ;采用污泥斗重力排泥,配置4套山东海知环境科技有限公司PN-I重力式排泥系统(PVC-U材质)排泥系统。

(3)对角线调节池。主要功能是均衡水量和水质。构筑物为1座半地上式钢砼结构,池体尺寸 $L\times W\times H=24.4\text{ m}\times 5.0\text{ m}\times 9.0\text{ m}$;HRT=24 h,池体 $V_{\text{有效}}=1\,000\text{ m}^3$, $V_{\text{总}}=1\,098\text{ m}^3$;配置提升泵2台(上海凯泉,WL2155-251),1用1备,流量 $Q=45\text{ m}^3/\text{h}$,扬程 $H=13\text{ m}$ 。

(4)UASB池。主要功能是利用厌氧微生物降解有机物。构筑物为1座4格半地上式钢砼结构,池体尺寸 $L\times W\times H=12.0\text{ m}\times 9.0\text{ m}\times 11.0\text{ m}$,池体 $V_{\text{有效}}=4\,536\text{ m}^3$, $V_{\text{总}}=4\,752\text{ m}^3$;COD容积负荷为 $2.05\text{ kg}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$,HRT为4.5 d(即108 h);配置8套点对点布水器(SUS304

材质),均匀布水、防止堵塞;4套SXF-I三相分离器(SUS304材质,板厚4 mm);4套PN-I排泥系统;水封器(SUS304材质,板厚4 mm)1套,尺寸 $D \times H=600 \text{ mm} \times 1\,500 \text{ mm}$ 水封沼气,防止回火;1套脱硫罐(SUS304材质),尺寸 $D \times H=600 \text{ mm} \times 1\,500 \text{ mm}$;换热装置1套,将废水温度升到 $35 \sim 38 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(5)中间沉淀池。主要功能是沉淀UASB出水中的絮状体。构筑物为1座半地上式钢砼结构,池体尺寸 $L \times W \times H=20.0 \text{ m} \times 4.0 \text{ m} \times 9.5 \text{ m}$,有效水深5.0 m, $V_{\text{总}}=760 \text{ m}^3$, $V_{\text{有效}}=400 \text{ m}^3$;沉淀时间为9.6 h;表面负荷为 $0.53 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;配置2台厌氧污泥回流泵(上海凯泉L2155-251),1用1备,流量 $Q=45 \text{ m}^3/\text{h}$,扬程 $H=13 \text{ m}$ 。

(6)缺氧池/射流曝气池(A/O)。缺氧池主要功能是接收回流的硝化液,完成反硝化脱氮。构筑物为1座2格半地上式钢砼结构,单格尺寸 $L \times W \times H=4.5 \text{ m} \times 9.0 \text{ m} \times 8.0 \text{ m}$, $V_{\text{有效}}=600 \text{ m}^3$, $\text{HRT}=14.4 \text{ h}$;配置2套BS-I点对点布水器(SUS304材质)。好氧池主要功能是利用池内活性污泥进一步降解有机物。构筑物为1座2格半地上式钢砼结构,单格尺寸 $L \times W \times H=15.1 \text{ m} \times 9.0 \text{ m} \times 8.0 \text{ m}$, $V_{\text{有效}}=2\,000 \text{ m}^3$, $\text{HRT}=48 \text{ h}$, COD容积负荷为 $0.26 \text{ kg}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$;气水比为15:1,配置SL-II射流曝气专用喷嘴24支,氧利用率为30%,射流泵4台(上海凯泉,LW2260-429),三叶罗茨鼓风机2台(中国川源,GRB-125A),硝化液回流泵2台(上海凯泉,LW2260-429)。

(7)二沉池。主要功能是沉淀好氧池出水中的悬浮物。构筑物为1座半地上平流式钢砼结构,池体尺寸 $L \times W \times H=20.0 \text{ m} \times 4.0 \text{ m} \times 8.0 \text{ m}$,有效水深为4.5 m, $V_{\text{有效}}=360 \text{ m}^3$, $V_{\text{总}}=640 \text{ m}^3$;表面负荷为 $0.53 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$;配置1套PBX-4.0桁架式刮吸泥机,行走速度为 $1.0 \text{ m}/\text{min}$;2台好氧污泥回流泵(上海凯泉,80WQ/D261-3.0),1用1备。

(8)终沉池。主要功能有2个:一是对沉淀的污泥起到一定的浓缩作用,为活性污泥曝气池提供回流污泥;二是在此投加除磷剂,进一步去除污水中的磷,投加药剂为聚合氯化铝(PAC)和聚合硫酸铁(PFS),投加量分别为 $0.2 \text{ kg}/\text{t}$ 和 $0.05 \text{ kg}/\text{t}$;构筑物为1座地上式钢砼结构,池体尺寸 $L \times W \times H=20.0 \text{ m} \times 4.0 \text{ m} \times 7.0 \text{ m}$, $V_{\text{有效}}=512 \text{ m}^3$, $V_{\text{总}}=560 \text{ m}^3$,有效水深6.4 m;表面负荷为 $0.525 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, $\text{HRT}=12 \text{ h}$;配套2套除磷剂投加系统、1套PBX-4.0桁架式刮吸泥机、2台排

泥泵(1用1备,上海凯泉80WQ/D261-3.0)。

(9)污泥浓缩池。主要功能是对污泥进行浓缩,去除一部分污泥颗粒间隙水(游离水,已达到减容和降低含水率目的。构筑物为1座半地上式钢砼结构,池体尺寸 $L \times W \times H=14.0 \text{ m} \times 7.0 \text{ m} \times 5.0 \text{ m}$, $V_{\text{总}}=490 \text{ m}^3$, $V_{\text{有效}}=100 \text{ m}^3$;污泥浓缩时间为12 h。

(10)叠螺污泥脱水机。主要功能是进一步降低经过浓缩后的污泥含水率,形成泥饼(含水率 $\leq 80\%$)外运处置利用。配置2台叠螺污泥脱水机(山东海知环境科技有限公司,LR-303),外形尺寸 $2\,060 \text{ m} \times 1\,420 \text{ m} \times 1\,140 \text{ mm}$,脱水(绝干)能力 $90 \sim 150 \text{ kg}/\text{h}$,固体回收率 $\geq 95\%$ 。

3 废水处理工程运行效果及成本

3.1 运行效果

该废水处理工程已经运行2年多,效果良好且稳定,处理效果见表2。

表2 处理工程运行效果

处理单元	COD	BOD ₅	SS	TP	NH ₃ -N	TN
进水	9 985	2 998	2 991	100	160	260
絮凝式初沉池+调节池	7 853	—	159	96	—	—
UASB池+中间沉淀池	448	326	—	85	—	208
A/O+二沉池	196	15	68	77	1.0	18
絮凝式终沉池	48	15	61	0.8	1.0	18
总去除率/%	99.5	99.5	98.0	99.2	99.4	93.1

从运行效果看,该工程设计最主要的特点有以下5个:

(1)初沉池设计为絮凝式沉淀池,并置于调节池之前。由于该废水含有高浓度的细小悬浮物,必须在进入UASB之前进行部分去除,以达到后续UASB的进水要求,因此,在初沉池处设置絮凝剂(PAC、PAM)投加系统,SS去除率为94.7%。如果初沉池置于调节池后,则调节池内需安装曝气搅拌等设施,以防止废水高浓度SS发生沉积,这样会增加较多动力消耗,可见将其置于调节池之前属于系统节能设计。

(2)UASB设计超长水力停留时间,采用点对点布水系统,有机物去除效率高。该单元HRT为4.5 d,布水均匀,运行稳定,COD和BOD₅去除率分别达到94.3%和89.1%。

(3)A池、O池均设计超长HRT,分别为14.4 h和48 h,总HRT为62.4 h,而室外排水设计规范(2016)推荐A/O系统总HRT为8~16 h,其中A池为0.5~3 h;

好氧池采用射流曝气,由于前构筑物 UASB 有较高的有机物去除率,调试中发现 A 池反硝化脱氮碳源不足,改进方法是引入 200 m³ 原废水进入 A 池作为外加补充碳源,很好地解决了碳源不足问题;二沉池水力负荷较低为 0.53 m³/(m²·h),而室外排水设计规范(2016)建议活性污泥法后该值一般为 1.0~1.5 m³/(m²·h),由于针对具体水质设计了较优的工艺参数,因此该单元 BOD₅ 和 NH₃-N 去除率较高,分别达到 95.4% 和 99.4%。

(4)二沉池之后设计了絮凝式终沉池,实现 TP 达标,TP 去除率为 99.0%,同时可保证出水 SS 稳定达标。

(5)污泥脱水设备采用叠螺污泥脱水机,设备节能,处理负荷大,但污泥含水率一般在 80% 左右,对于污泥含水率要求高的工程,需配套其他设备进一步脱水。

3.2 建设及处理成本

工程总投资为 938.35 万元,其中土建部分投资为 603.94 万元,工艺设备及安装工程投资为 334.41 万元。废水处理成本电费为 1.23 元/m³,人员工资 0.4 元/m³,药剂费 1.25 元/m³,总处理成本为 2.88 元/m³。

4 结语

从工程设计、建设与运行的实践看,工艺参数设计应根据具体水质和建设场地条件灵活考虑,不应局限于设计规范推荐的参数值。本工程废水属于高 COD、高氮磷、高 SS 的水质,主要构筑物设计为超长的水力停留时间和较低的水力负荷、容积负荷,能确保较高的污染物去除率,实现稳定达标和较低的运行成本,出水水质稳定优于排放标准。

参考文献

- [1] 赵敏. 食品工业废水处理技术研究[J]. 现代食品, 2020(17): 122-124.
- [2] 张智,周健. 食品工业高盐高氮磷有机废水处理技术发展趋势[J]. 给水排水, 2012, 38(9): 1, 51.
- [3] 宋玮华,杨天栋,冯子元. 食品工业废水处理工艺及节能探析[J]. 食品安全导刊, 2020(33): 182-184.
- [4] 梁止水,张倩,韦静,等. 玄武岩纤维填料生物接触氧化法提升食品废水处理的效果评价:以日本 Mizkan Holdings 美浓加茂工厂为例[J]. 环境工程, 2019, 37(9): 8-13.
- [5] 李燕,宋俊梅,曲静然. 豆制品废水的处理及综合利用[J]. 食品工业科技, 2002, 23(7): 70-72.
- [6] 胡明成,龙腾锐,傅卫东,等. UASB 反应器处理酸性大豆蛋白加工废水[J]. 工业水处理, 2007, 27(12): 28-30.
- [7] 侯薇,薛嵘,孙春玲,等. 气浮-水解-UASB-两级 A/O 工艺处理大豆蛋白废水[J]. 工业用水与废水, 2010(1): 88-90.
- [8] 胡琪勇,李毅,刘延芳,等. 豆制品加工废水处理工程改扩建[J]. 工业用水与废水, 2017(1): 71-74.
- [9] 季文浩,蒋纪华,林江涛,等. 豆制品加工废水处理工程设计分析[J]. 环境与发展, 2020, 32(2): 71-72.
- [10] 张海生,高海静. 序批式反应器强化豆制品废水脱氮除磷研究[J]. 水处理技术, 2020, 46(5): 115-120.

[作者简介] 孙理密(1970—), 本科, 高级工程师。电话: 13953116506, E-mail: 237811912@qq.com; 通讯作者: 朱丽, 博士, 副教授。电话: 15153175672, E-mail: 525932901@qq.com。

[收稿日期] 2021-11-24(修改稿)