

# 小型豆制品废水处理工程设计实例

李鹏 张冲 张强 鲁燕

(北京恩菲环保股份有限公司, 北京 100038)

[摘要] 豆制品含有大量植物蛋白、草酸、胶原等易被微生物降解的物质,可生化性强,属于高浓度有机废水。为满足某村豆腐丝加工业发展需要,建设一座处理规模为  $100 \text{ m}^3/\text{d}$  的小型豆制品废水处理工程,采用气浮 + UASB + A<sup>2</sup>/O 工艺。本文介绍了豆制品废水处理工艺设计方案、主要构筑物和设计参数,分析了工艺方案特点和工艺运行条件控制。该工程采用成熟的工艺,充分利用场地,出水水质可以稳定达标,节约了工程投资和占地。

[关键词] 豆制品废水; 气浮; UASB; COD 去除; 脱氮; 除磷; 生物降解; 有机废水

[中图分类号] X703 [文献标志码] B [文章编号] 1008-5122(2021)04-0062-05

DOI:10.19610/j.cnki.cn11-4011/tf.2021.04.015

## The Design of an Effluent Treatment System for a Small Bean Processing Plant

LI Peng, ZHANG Chong, ZHANG Qiang, LU Yan

**Abstract:** The bean processing effluent is a highly bio-degradable organic effluent containing large amounts of substances that can be degraded by microbes, such as plant protein, oxalic acid, and collagen. To facilitate the operation of a bean made noodle plant, a small effluent treatment system needs to be built. The system can process  $100 \text{ m}^3/\text{d}$  of effluent, following the flotation + UASB + A<sup>2</sup>/O process. The process design, main structures, and design parameters were described, and process features and parameter controls were analyzed. The process is a mature process, and makes good use of the plant space. The treated effluent can constantly meet the quality standard, and both the capital costs and plant footprint are saved.

**Key words:** bean processing effluent; flotation; UASB; COD removal; denitrification; phosphor removal; biodegradation; organic effluent

## 0 前言

豆制品企业的废水主要由原料黄豆的浸豆、泡豆、压榨和冲洗过程产生,有机物含量高。其中,黄泔水 COD 高达  $10\,000 \sim 30\,000 \text{ mg/L}$ ,泡豆水 COD

为  $4\,000 \sim 8\,000 \text{ mg/L}$ ,其他废水 COD 相对较低。这类废水含有大量植物蛋白、草酸、胶原等易被微生物降解的物质,可生化性强,属于高浓度有机废水。豆制品经过不同加工工艺产生的废水成分较为复杂,如含有一些油脂、悬浮物、盐分等不利于处理的物质。另外,大部分豆制品生产属于间歇式,排水时间较集中,水量和水质很不均匀,且悬浮物高易导致沉积或在废水表面形成浮渣层,处理达标难度较大<sup>[1-2]</sup>。通过对北方某小型豆制品废水处理实际工程设计进行总结,可为类似废水处理工程设计提供参考。

[收稿日期] 2021-03-08

[作者简介] 李鹏(1986—),男,陕西榆林人,硕士,高级工程师,主要从事污水厂及自来水厂投资建设和运营工作。

[引用格式] 李鹏,张冲,张强,等.小型豆制品废水处理工程设计实例[J].有色冶金节能,2021,37(4):62-66.

## 1 工程概况

北方某村豆腐丝加工以家庭作坊为单位进行生产,具有生产规模小、分布散、数量多等特点。豆腐丝加工采用“黄豆选料→泡料→磨浆→煮浆→点卤→泼片→轧片→起片→切丝→捆把→煮制”等工序。废水主要来自泡豆水、黄泔水、冲洗水、卤水等,偏酸性,含有植物蛋白质、糖类、盐类等物质。

为解决豆腐丝加工废水对周边环境造成的不利

影响和危害,需建设设计规模为  $100 \text{ m}^3/\text{d}$  的集中式废水处理工程,使出水水质达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015) A 级标准后就近排入市政污水管网。

## 2 工程设计

### 2.1 设计水质

根据现场取样测定的数据,设计的进水、出水水质见表 1。

表 1 设计进水、出水水质

水质指标	COD/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	BOD <sub>5</sub> / $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	SS/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	TN/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	NH <sub>3</sub> -N/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	TP/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	pH
进水	12 000	6 000	1 500	400	120	75	3.0~4.0
出水	500	350	400	70	45	8	6.5~9.5

### 2.2 工艺选择

本工程是为解决当地村庄豆腐丝产业的可持续发展问题而建设的小型污水处理工程,投资和运行成本受限,因此要根据豆制品废水的特性,选用经济合理的工艺方案。进水水质 BOD<sub>5</sub>/COD = 0.5,说明废水可生化性较好,可选择经济有效的活性污泥法生物处理工艺,并着重从以下几个方面进行考虑。

#### 2.2.1 预处理工艺选择

根据豆制品废水中的悬浮物种类,大的砂粒、豆渣、悬浮物、胶体等可采用机械格栅去除,防止在调节池内形成大量沉积,堵塞后续工艺段的水泵、阀门、管道等。细小悬浮物、蛋白类物质可以通过气浮工艺去除<sup>[3]</sup>。通过最大程度地去除蛋白类物质,可以减小后续厌氧处理工艺的 COD 负荷和好氧处理工艺的氨氮负荷。

#### 2.2.2 COD 去除工艺选择

针对豆制品废水高浓度有机物的特点,采取厌氧和好氧处理技术进行处理,这是解决高浓度有机废水污染的常用工艺组合。厌氧生物处理工艺在处理高浓度有机废水和难生物降解有机废水方面,具有动力消耗少、处理负荷高、投资少、占地节约、污泥处理费用低等优势。厌氧生物处理工艺多采用 UASB、IC、EGSB、厌氧生物滤池等<sup>[1-2,4]</sup>。根据豆制品废水水质特点和出水水质要求,采用 UASB 工艺,因为 UASB 工艺容积负荷率高,抗水量水质冲击负荷大,控制简单,在多种高浓度有机污染物废水中已有较多成功运行的实例。经厌氧处理后的污水水体中有机污染物仍然较高,需要进一步作好氧处理才

能达到出水水质要求。

#### 2.2.3 脱氮除磷工艺选择

设计中采用了常规 A<sup>2</sup>/O 工艺进行脱氮除磷。豆制品加工废水含有大量蛋白质、氨基酸和脂类,刚排出时的氨氮浓度未达到最高值,但经过厌氧反应后,废水中的有机化合物转变为无机化合物氨释放出来,氨氮浓度会急剧升高,严重时游离氨会对厌氧菌产生抑制作用,影响厌氧反应的处理效果。同时氨氮浓度升高也会影响好氧反应的处理效果。UASB 工艺排出高氨氮废水后,生化池曝气量不足会导致溶解氧过低,硝化反应不完全,造成亚硝酸盐积累,因 NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 具有还原性,会引起出水 COD 升高,甚至高于进水<sup>[3-6]</sup>。因此,一方面,需要通过预处理最大程度地去除蛋白类物质;另一方面,生化池需要考虑采用完整的脱氮工艺。该废水 C/N 为 15,可采用生物脱氮处理工艺;BOD<sub>5</sub>/TP 为 80,可采用生物除磷工艺。在生化段除磷效果不佳或者来水水质波动导致 TP 含量偏高的情况下,通过在二沉池前投加除磷絮凝剂,保证出水 TP 达标排放。

#### 2.2.4 pH 值调节

由于豆制品废水很容易酸化变质,进水 pH 值偏低。为避免对生化系统造成影响,在预处理段,设置进水 pH/T 检测设备,同时设置碱投加装置,根据来水的 pH 值,及时通过投加药剂,调整 pH 值到中性;在厌氧处理段,同样设置 pH/T 检测设备和碱投加装置,以保证 UASB 工艺所需碱度<sup>[3]</sup>。

综合考虑以上因素,工艺流程如图 1 所示。

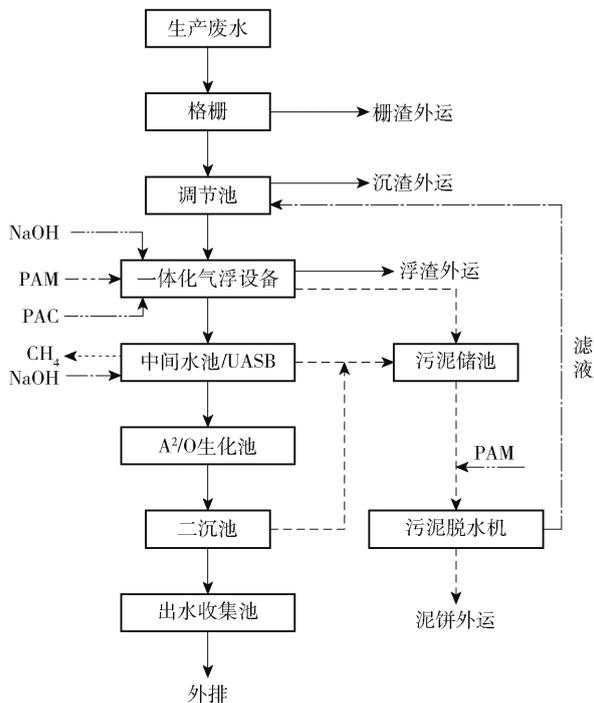


图1 废水处理工艺流程

### 2.3 废水处理效果

废水沿程去除率设计见表2。

### 2.4 主要构筑物和设计参数

#### 2.4.1 格栅

格栅设置1座,半地下式钢筋混凝土结构,尺寸为5.00 m×0.80 m×4.50 m。手动格栅1台,间隙5 mm,过栅流速为0.6 m/s。

#### 2.4.2 调节池

调节池的作用是保证处理工艺的稳定运行,使进水均质均量。采用半地下式钢筋混凝土结构,尺寸为5.00 m×5.00 m×4.50 m,与格栅渠共壁,有效容积为100 m³。水力停留时间为24 h。设置变频提升泵2台,流量 $Q=5\text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程 $H=10\text{ m}$ ,电机功率 $N=0.55\text{ kW}$ ;搅拌机2台,功率为0.37 kW;排渣泵2台,流量 $Q=5\text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程 $H=10\text{ m}$ ,电机功率 $N=0.75\text{ kW}$ 。

#### 2.4.3 气浮设备

气浮设备1套,处理量为 $5\text{ m}^3/\text{h}$ ,由气浮池体、

表2 废水沿程去除率设计

工艺段	水质	COD/ mg·L <sup>-1</sup>	BOD <sub>5</sub> / mg·L <sup>-1</sup>	pH	SS/ mg·L <sup>-1</sup>	NH <sub>3</sub> -N/ mg·L <sup>-1</sup>	TP/ mg·L <sup>-1</sup>	TN/ mg·L <sup>-1</sup>
预处理	进水	12 000	6 000	3~4	1 500	120	75	400
	出水	9 000	5 100	6.5~7.5	450	120	30	200
	去除率/%	25	15	-	70	0	60	50
UASB	进水	9 000	5 100	6.5~7.5	450	120	30	200
	出水	1 350	1 070	-	300	120	30	200
	去除率/%	85	79	-	33	0	0	0
A <sup>2</sup> O+沉淀	进水	1 350	1 070	-	300	120	30	200
	出水	500	350	6.5~9.5	200	45	8	70
	去除率/%	63	67	-	33	63	73	65

溶气系统、溶气回流管路、溶气水释放装置、刮渣装置、在线pH/T计等部件组成。为节省安装空间,气浮设备设置于调节池上方。聚合氯化铝(PAC, 10%)投加量为150~250 mg/L;阴离子聚丙烯酰胺(PAM, 0.1%)投加量为1.5 mg/L,并根据在线pH/T计结果投加NaOH,将废水pH值调至中性。

#### 2.4.4 中间水池

中间水池设置1座,半地下式钢筋混凝土结构,尺寸为2.85 m×2.35 m×4.50 m,与调节池共壁。设置UASB进水变频提升泵2台,流量 $Q=5\text{ m}^3/\text{h}$ ,

扬程 $H=15\text{ m}$ ,电机功率 $N=0.75\text{ kW}$ 。

#### 2.4.5 UASB反应器

UASB反应器1座,碳钢防腐材质一体化设备,尺寸为 $\Phi 6\text{ m}\times 8.5\text{ m}$ ,容积负荷为 $5.0\text{ kg COD}/(\text{m}^3\cdot\text{d})$ ,上升流速为0.6 m/h,设计运行温度 $28\sim 35\text{ }^\circ\text{C}$ 。设置UASB出水回流泵2台,流量 $Q=15\text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程 $H=15\text{ m}$ ,电机功率 $N=1.5\text{ kW}$ ;排泥螺杆泵2台,流量 $Q=5\text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程 $H=0.6\text{ MPa}$ ,电机功率 $N=2.2\text{ kW}$ 。根据在线pH/T计进行NaOH投加,保证厌氧反应所需碱度。

#### 2.4.6 地理式一体化污水处理设备

地理式一体化污水处理设备设置2套,玻璃钢材质,单套处理能力为 $50\text{ m}^3/\text{d}$ ,总尺寸 $\Phi 3.2\text{ m} \times 14.5\text{ m}$ 。包含厌氧池、缺氧池、好氧池、沉淀池,以及厌氧/缺氧池搅拌机、配套布水、布气装置、人孔、污泥回流泵、气提内回流装置、污泥斗、斜管填料、出水堰板、管路、阀门、仪表等。生化池总水力停留时间为38 h,其中厌氧区水力停留时间为3 h,缺氧区水力停留时间为13 h,好氧区水力停留时间为22 h。沉淀池采用斜管填料,表面负荷为 $0.9\text{ m}/\text{h}$ 。

污泥负荷 $0.12\text{ kg BOD}_5/\text{kg MLSS} \cdot \text{d}$ ,混合液悬浮浓度为 $3 \sim 4\text{ g}/\text{L}$ ,污泥龄 $15.4\text{ d}$ ,污泥回流比 $60\% \sim 100\%$ ,混合液回流比 $200\%$ ,总曝气量 $120\text{ m}^3/\text{h}$ 。

#### 2.4.7 出水收集池

出水收集池设置1座,半地下式钢筋混凝土结构,尺寸为 $2.85\text{ m} \times 2.35\text{ m} \times 4.50\text{ m}$ ,与中间水池共壁。设置出水提升变频泵2台,流量 $Q=8\text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程 $H=25\text{ m}$ ,电机功率 $N=1.5\text{ kW}$ 。

#### 2.4.8 污泥处理系统

储泥池1座,半地下式钢筋混凝土结构,尺寸为 $2.85\text{ m} \times 2.35\text{ m} \times 4.50\text{ m}$ ,与出水池共壁。设置污泥进料泵2台,流量 $Q=5\text{ m}^3/\text{h}$ ,扬程 $H=10\text{ m}$ ,电机功率 $N=0.55\text{ kW}$ ;搅拌机1台,功率 $0.37\text{ kW}$ 。污泥脱水机房设置叠螺污泥脱水机1台,处理干泥量 $12 \sim 24\text{ kg}/\text{h}$ ,功率 $1.1\text{ kW}$ ;阳离子PAM投加装置1套,机械隔膜计量泵2台,流量 $Q=25\text{ L}/\text{h}$ ,扬程 $H=30\text{ m}$ ,电机功率 $N=0.25\text{ kW}$ ;水平螺旋输送机1台,尺寸为 $\Phi 200\text{ mm}$ ,输送量 $1\text{ m}^3$ ,输送长度 $5\text{ m}$ 。

### 2.5 本工程设计特点

1) 工程选址及平面布置。本工程选址利用现有坑塘,其坑底距现状地坪 $-3.00\text{ m}$ 。水池构筑物采用半地下布置,充分利用坑塘深度,最大化减少土方开挖;同时设计液位在冰冻线以下,保证了各构筑物的水温满足生化系统要求。通过对水池构筑物采用密闭加盖设计,减少处理工艺的臭气溢出,防止对周边环境造成影响。建构筑物采用集约型布置方式,合理利用纵向空间,总占地面积为 $444.5\text{ m}^2$ 。

2) 进水收集和计量。本工程所在村无污水管网,考虑工程规模小、排水分散、建设管网费用高等因素,排水户采用自用水车运输至集水井,并通过称重的方式进行计量。

3) 由于进水水量、水质波动较大,适当增大调节池容积,保证后续工艺的稳定运行。

### 2.6 工艺运行条件控制

1) UASB反应器调试的厌氧菌采用附近污水处理厂的厌氧污泥接种。菌种接入UASB反应器后,加入少量豆制品废水作为培养基,先进行升温和驯化培养。每天升温 $1 \sim 2\text{ }^\circ\text{C}$ ,直至温度达到设计要求的 $28 \sim 35\text{ }^\circ\text{C}$ 。废水处理量从 $5\text{ m}^3/\text{d}$ 开始,COD负荷从 $0.2\text{ kg COD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 开始逐步增加,直至达到设计水量。

2) 废水处理工程初期投入使用时,由于上游排水不规律导致水量不稳定,废水浓度也相应波动很大,给稳定运营带来很大困难,因此需要及时调整参数,消除水量、水质波动的影响。首先,当水量较大时,延长进水时间和降低UASB的回流量,以减少由于水量的增加对UASB反应器造成的冲击。当水量减少但进水浓度较高时,采取增加UASB的回流量和回流时间的措施,以加大回流量稀释高浓度进水,减少高浓度进水对厌氧反应的冲击。根据进水量变化及时进行工艺条件的调整,确保系统出水稳定达标。

3)  $\text{A}^2/\text{O}$ 生物池控制,主要是污泥浓度和溶解氧浓度的控制。冬季适当提高污泥浓度来保证氨氮去除效果,但同时也需要防止二沉池跑泥造成出水超标。厌氧区和缺氧区溶解氧浓度控制在 $0.5\text{ mg}/\text{L}$ 以下,好氧区中部溶解氧浓度控制在 $3 \sim 5\text{ mg}/\text{L}$ ,好氧区末端溶解氧浓度控制在 $2\text{ mg}/\text{L}$ 左右,以保证COD和氨氮处理效果。

### 2.7 工程效益分析

本项目工程费用为185万元,运行功率为 $20\text{ kW}$ ,电耗为 $4.8\text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ ,去除COD电耗为 $0.42\text{ kW} \cdot \text{h}/\text{kg}$ ,药剂费用为 $0.22\text{ 元}/\text{m}^3$ 。

## 3 结束语

小型豆制品废水处理工程设计采用气浮+UASB+ $\text{A}^2/\text{O}$ 工艺,出水可稳定达到《污水排入城镇下水道水质标准》(GB/T 31962—2015) A级标准。系统设计考虑了进水水量和水质的不均匀,当进水COD浓度变化时,系统稳定运行,出水水质可以稳定达标。工程设计充分利用现状坑塘,采用成熟可靠低成本的工艺,节约了工程投资和占地,便于运行,可为同类小型豆制品废水处理工程设计提供借鉴。此外,采用UASB工艺产生的大量

沼气和厌氧颗粒污泥,均具有经济价值,建议进行开发利用。

### [参考文献]

- [1] 马志辉. UASB 与 CASS 联用处理豆制品废水工艺设计[D]. 保定:河北大学,2017.
- [2] 王小琴. 豆制品加工废水处理工艺设计[D]. 太原:山西大学,2017.
- [3] 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(41):88-90.

- [4] 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(48):71-74.
- [5] 王建西,崔战胜,王海军,等. 豆制品产业园废水处理项目设计及运行[J]. 中国给水排水,2018(34):105-108.
- [6] 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):106-112.

(上接第 48 页)

处理每吨废乳化液耗电 33.6 kW·h,按电价 0.8 元/kW·h 计算,则电费为 26.88 元。

因此,每吨废乳化液处理成本为 113.007 元。生产成本主要集中在超滤膜定期更换以及电耗。处置成本较低,与目前市场上每吨废乳化液处理费用 2 000~3 000 元相比,本工艺具有良好的经济效益。

## 4 结束语

综上所述,相对于现有其他废乳化液处置方法,采用超滤+真空闪蒸法处理废乳化液具有处置成本低、不额外产生大量废物、产品品质高等优点,废乳化液经资源化回收后,可制备燃料油,具有较高的使用价值。

在实际生产过程中,在控制好来料检测、来料预处理、操作温度、操作压力的前提下,可以实现自动化生产,减少操作人员工作强度,实现无人值守。因

此本工艺具有良好的经济效益和可操作性,适用于工业化生产。

### [参考文献]

- [1] 徐梦兰,龙江,徐文彬. 乳化废液处理技术研究进展[J]. 广东化工,2019,46(22):116-117.
- [2] 吴卫林,洪骏,余端,等. 高浓度废乳化液处置技术[J]. 安徽化工,2019,45(4):70-72.
- [3] 余金海. 全新的废乳化液处理技术[J]. 有色金属加工,2016,45(5):64-66,59.
- [4] 林保华,高勇,雷亮. 多效蒸发+MBR 工艺在废乳化液处理中的应用[J]. 化工时刊,2016,30(10):20-23.
- [5] 田晶,谢静铭,崔彦杰,等. 管式聚偏二氟乙烯超滤膜处理乳化液废水的膜污染与清洗[J]. 化工时刊,2016,32(8):34-38.
- [6] 董克忠,曹仲宏. 膜技术处理含油污水[J]. 铁道劳动安全卫生与环保,2002,29(5):223-224.