

# 豆制品生产废水资源化利用的工艺实践

杨圣广 (安徽省肥西县环境监测站, 安徽合肥 231200)

**摘要** 豆制品在我国有着悠久的历史 and 广泛的市场, 其生产废水含有高浓度有机质, COD 高达 30 000 mg/L, 直接排放对水环境污染严重。针对豆制品废水可生化性好的特点, 提出厌氧发酵(沼气)—生物膜法处理工艺, 实现废水的能源化处理, 同时达到环境排放标准要求, 设计日处理水量 300 m<sup>3</sup>, 日产沼气 1 300 m<sup>3</sup>, 排水执行《农业灌溉水质标准》中水作标准。

**关键词** 豆制品; 废水; 资源化; 厌氧发酵; 工艺实践

**中图分类号** X 703 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)25-0064-03

## Process Practice of Energy Utilization of Soybean Production Wastewater

YANG Sheng-guang (Environmental Monitoring Station of Feixi County, Hefei, Anhui 231200)

**Abstract** Bean products have a long history and a wide market in China. The production wastewater contains high concentrations of organic matter, COD is as high as 30,000 mg/L, and direct discharge is seriously polluted by water environment. In view of the good biodegradability of soybean product wastewater, the anaerobic fermentation (biogas)-biofilm process was proposed to realize the energy treatment of wastewater and meet the requirements of environmental emission standards. The designed daily treatment water volume was 300 m<sup>3</sup>, and the daily biogas was 1 300 m<sup>3</sup>. The drainage implements the water standard in the *Agricultural Water Quality Standards*.

**Key words** Bean products; Wastewater; Energy; Anaerobic fermentation; Process practice

豆制品生产废水主要来源于浸豆、泡豆及蒸煮、压滤废水和冲洗废水, 该废水属于高浓度有机废水, 有机物含量高, 可生化性强, 直排环境污染严重。根据文献资料<sup>[1-2]</sup>, 豆制品废水处理易出现以下问题: ①该企业属于间歇生产方式, 水量和水质不均匀, 排水时间较集中; ②高浓度废水在厌氧处理水解酸化段易酸化, 是控制难点; ③好氧阶段, 如采用活性污泥法, 易产生污泥膨胀。因此, 豆制品生产废水资源化利用显得非常重要。

安徽寿县是著名的豆腐之乡, 安徽迎淮豆制品有限公司主要从事豆制品生产销售, 日产各类豆制品 260 t, 其生产废水有机物含量高, 其中黄浆水 COD<sub>Cr</sub> 一般在 20 000 ~ 30 000 mg/L, 泡豆水的 COD<sub>Cr</sub> 为 1 200 ~ 2 000 mg/L, 其他废水 COD<sub>Cr</sub> 相对较低; 废水的 C:N:P 平均为 100.0:4.7:0.7, 可生化性达到 0.6~0.7, 大都污染物为可降解有机物, 适合微生物的生长。为落实好环境保护的要求, 必须对其生产废水进行处理, 笔者提出厌氧发酵(沼气)—生物膜法处理工艺<sup>[1]</sup>, 以便实现废水的能源化处理, 同时达到环境排放标准要求。

## 1 处理水量、进水质和排放标准

**1.1 日处理水量** 项目扩建后废水产生量 300 m<sup>3</sup>/d, 其中黄浆水 150 m<sup>3</sup>/d, 清洗水 150 m<sup>3</sup>/d, 取日变化系数 1.2, 则系统日处理最大废水量为 360 m<sup>3</sup>/d。按 24 h 运行, 则 15 m<sup>3</sup>/h, 其中黄浆水 7.5 m<sup>3</sup>/h。

**1.2 进水质** 浓度最高的黄浆水 pH 为 4~6, SS ≤ 6 600 mg/L, COD<sub>Cr</sub> ≤ 30 000 mg/L, BOD<sub>5</sub> ≤ 14 000 mg/L。普通清洗水 pH 为 6~8, SS ≤ 130 mg/L, COD<sub>Cr</sub> ≤ 220 mg/L, BOD<sub>5</sub> ≤ 76 mg/L。

**1.3 出水水质** 系统排水执行《农业灌溉水质标准》中水作标准: pH 6~9, SS ≤ 150 mg/L, COD<sub>Cr</sub> ≤ 200 mg/L, BOD<sub>5</sub> ≤

80 mg/L。

## 2 设计依据

《农业灌溉水质标准》(GB5084—1992)、《地表水环境标准》(GB3838—2002)、《给排水工程结构设计规范》(GBJ69—84)、《室外排水设计规范》(GB50014—2006)、《环境工程手册—废水卷》高等教育出版社、《水处理工程师手册》化学工业出版社、《环境设备材料手册》(第二版)冶金工业出版社、《沼气工程设计规范》NY5074—2009、《水解酸化反应器污水处理工程技术规范》(HJ2047—2015)。

## 3 设计思路

分质处理高浓度黄浆水, 清洗水预处理后, 混合达标排放; 考虑氨氮、酸化等不利因素, 预留处置接口; 主体处理工艺是预处理+USR 反应池+生物膜法; 厌氧发酵采用两段多级技术, 分段利于培养不同细菌群高效发挥作用, 多级发酵可使高浓度废水逐级降低, 使残余的有机物彻底分解。

## 4 处理工艺流程设计

### 4.1 处理工艺的确定

**4.1.1 初沉池。**把进水 COD 浓度降至 20 000 mg/L 以下, 必要时利用气浮处理设备。

**4.1.2 USR 反应池。**主要处理单元采用 35 °C 中温发酵、两段 5 级推流式分级降解技术, 池内设置填料, COD 负荷 1.0~2.5 kgCOD/(m<sup>3</sup>·d), 把污水中 COD 浓度从 20 000 mg/L 降至 1 000 mg/L, 有效容积 3 000 m<sup>3</sup>, 理论沼气产生量 900~1 300 m<sup>3</sup>/d<sup>[3]</sup>。

**4.1.3 生物膜池。**填料负荷 2 kgBOD/(m<sup>3</sup> 填料·d), 把污水中 COD 浓度从 1 000 mg/L 降至 200 mg/L 以下(表 1)。

**4.2 工艺流程设计** 该项目的工艺流程如图 1 所示。该工艺具有以下特点: ①厌氧发酵采用两段式, 产酸和产气段独立进行, 提高效率, 同时对产气段又分 4 级降解, 可稳定实现降解效果, 快速降解 COD 值到 1 000 mg/L 以下<sup>[2]</sup>。② 2 组 2 条生产线轮换进料, 检测和调试系统独立进行, 有助于提高生产效率, 如有不良结果出现, 可以及时调节, 具备应急功

**作者简介** 杨圣广(1970—), 男, 安徽合肥人, 高级工程师, 从事环境监测和水污染治理工程研究。

**收稿日期** 2018-05-29

表 1 生产废水处理预计效果

Table 1 The expected effect of wastewater production treatment

项目 Project		COD <sub>Cr</sub> mg/L	SS mg/L
初沉、气浮 Primary sedimentation and flotation	进水	30 000	6 600
	出水	20 000	3 000
	去除率//%	33	54
5 级 USR 池 Level 5 USR pool	进水	20 000	3 000
	出水	1 000	300
	去除率//%	95	90
好氧接触氧化 Aerobic contact oxidation	进水	1 000	300
	出水	150	100
	去除率//%	85	67
预计处理后出水水质 Estimated effluent quality after treatment		150	100
该项目允许排放标准 Allowable emission standard		200	150

能<sup>[4]</sup>。③充分利用水力条件,注意管道布列,最大程度减少

动力消耗,全套装置功率仅为 4.55 kW·h。④预设除酸、除氨系统,当两段厌氧首池酸化时,可以投加碱性物质调节,当 USR 末端池氨氮浓度过高,可以采用化学方式予以去除,以此实现不良工况可调可控。⑤与公共卫生间连建,粪便水直接进入系统处理,处理后的中水引入冲厕,形成循环,大大改变了卫生环境,节约水资源。⑥USR 末端池具有较高的氨氮含量,可直接回用农田,此沼液不仅具备普通沼液的生物肥效,其氮元素含量更高。

## 5 构筑物及设备

**5.1 集水井** 设计规模为 3 m×3 m×3 m,地下钢砼结构,设污水泵 2 台,一用一备,1.5 kW,扬程 7 m,管径 65 mm。设置气浮机装置一台,采用溶气气浮法,将大量空气溶于水,形成溶气水,通过释放器骤然减压快速释放,产生大量微细气泡与水中污染物质黏附成絮体上浮,从而迅速去除水中悬浮物质,达到净化的目的。

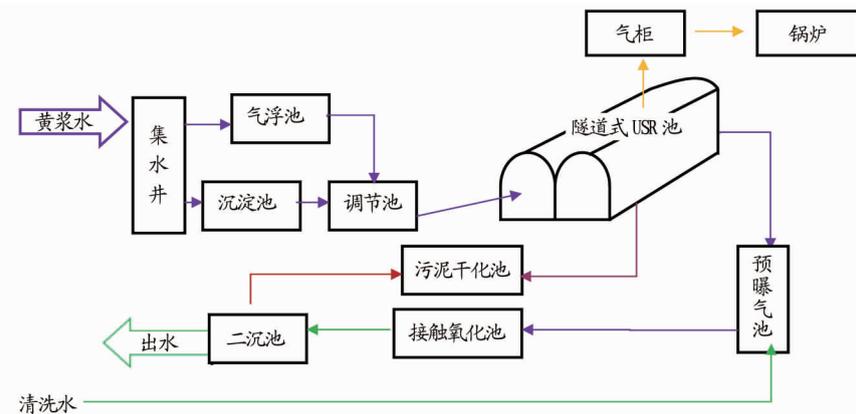


图 1 工艺流程

Fig. 1 Technical process

**5.2 调节池** 该单元主要是水质均和、平衡水量,削减高峰水量对后续处理单元的冲击负荷,以期降低水量变化对处理效果的影响,设计规模为 3 m×3 m×3 m,地下钢砼结构,设污水泵 2 台,一用一备,1.5 kW,扬程 7 m,管径 65 mm。

**5.3 沉淀池** 该单元主要是利用重力的作用使废水中的悬浮物、生物处理后产生的污泥或生物膜与水分离,形成泥水界面。平流沉淀池 3 m×7 m×1.5 m,地下钢砼结构,斜底板;平面负荷取 1.3。

**5.4 USR 反应池** 在高浓度废水处理工艺中,废水的厌氧生物处理是指在无游离氧的情况下,以厌氧生物为主对有机物进行降解的一种处理方法,成功的厌氧水解工段去除效率可达到 50%以上。在厌氧生物处理过程中,厌氧处理技术是一个关键步骤,复杂的有机化合物被降解,转化为简单、稳定的小分子化合物,同时释放出能量,大部分能量以甲烷(CH<sub>4</sub>)的形式出现,如果厌氧消化过程彻底,最终产物均为 CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub> 及 NH<sub>3</sub>。该单元可降解有机物提取水中有效元素能源化利用,同时也为后续好氧处理做了很重要的前期处理<sup>[5]</sup>。

结合理论计算和工程经验,推荐 USR 总池容 3 000 m<sup>3</sup>,有效容积 2 400 m<sup>3</sup>,地埋隧道式推流结构,水力总停留时间

16 d。设置二组隧道式沼气池,每组长 30 m(设 5 个分区,每区长 6 m),池深 4 m,单拱跨度 10 m,拱高 1 m,全钢砼结构,半地下式。设置低速推流器 2 台,出渣系统 2 套,人孔 12 套,生物填料 900 m<sup>3</sup>,正负压保护器 12 套,气体检测系统 1 套,沼液检测系统 1 套,池内水流沟通 12 套,沼气收集系统 2 套,脱氮回流设施 2 套,加套系统 12 套。

**5.5 预曝气池** 该单元为厌氧环境转换好氧环境节点。设计规模为 5 m×5 m×4 m,地下钢砼结构;设污水泵 2 台,一用一备,1.5 kW,扬程 7 m,出口 75 mm。

**5.6 生物膜池** 废水中存在的各种有机物以胶体状、溶解态的有机物为主,作为微生物的营养源,与厌氧方法不同,废水的好氧生物处理是一种有氧的情况下,以好氧微生物为主对有机物进行降解处理。这些有机物经过一系列的生物反应,最终以 CO<sub>2</sub> 和水无机物质稳定下来,达标排放<sup>[6]</sup>。设计规模为 12 m×5 m×4.5 m,地下钢砼结构;设置生物填料 160 m<sup>3</sup>,回流泵 2 台,曝气系统一套,风机 2 台,一用一备,污泥泵 2 台。

**5.7 二沉池** 该单元主要通过静置使污泥进一步浓缩,将各个处理单元产生的剩余污泥汇集。设计规模为 3 m×3 m×4 m,地下钢砼结构;设污泥泵 2 台,一用一备,1.5 kW,扬程

10 m,出口 50 mm。

**5.8 干化池** 进过污泥浓缩后的污泥需要进一步处理,含水率仍然在 98%以上,采用污泥干化场的方式可以减少对机械压滤机等设备的需求,但需要一定的场地。设计规模为 10 m×10 m×1 m,地上砖结构,3 座轮换使用,总有效面积 300 m<sup>2</sup>;底部设置砂石滤层,利用现有干化设施,滤液回流到预曝气池。

**5.9 控制房** 普通砖瓦平房 20 m<sup>2</sup>,设置门窗、空调、办公桌椅、灭火器等。

**5.10 湿式气柜** 配 400 m<sup>3</sup> 湿式气柜,存储甲烷气(沼气),恒压恒流供给后续锅炉燃烧使用。

**5.11 沼气锅炉** 配 2 t/h 纯沼气蒸汽锅炉一台,系统提供沼气含量约 65%,低位燃烧值 2.3×10<sup>7</sup> J,满足豆制品生产需求。

**5.12 脱硫、凝水及安全水封** 配脱硫、凝水、安全水封及沼气计量装置各 2 套。

**5.13 加热系统** 在各室采用镀锌管制作加热盘管,采用热水循环加热方式,保证冬季系统稳定运行在 35℃ 工位,提高发酵效果<sup>[7]</sup>。

**5.14 运行调节系统** 运行调节是系统稳定运行的重要保证,预设 pH、甲烷、挥发性有机酸、水温、污泥浓度等监控系统。

## 6 消防、环保与安全设计

**6.1 消防设计** 该工程作为整个生产项目的公用辅助项目,消防统一规划设计,在此不单独设计。

**6.2 节能设计** 该工程设计节能措施主要有:污水处理构筑物布置紧凑,注意高程布置,减少联络管渠的水头损失;设备选型杜绝采用国家公布的淘汰产品,选用高效率、低能耗的设备产品;重视计量、仪表、监控设计使用,整个系统能根据不同的水量和工况调整设备运行情况,既实现污水的处理效果,又达到节能目的<sup>[8]</sup>。

## 6.3 环境保护

**6.3.1 施工期环境影响的缓解措施。**

**6.3.1.1 工程施工弃土的管理。**土方工程施工中产生的土方,应本着因地制宜的原则,首先考虑为该工程利用回填,余土就近填入农村道路修建。

**6.3.1.2 噪音防护。**施工期间噪音主要为运输车辆的喇叭

声、电动机声、混凝土搅拌声等。昼间施工时要尽量避免各种施工机械同时启动,减少对周围环境的影响,夜间不施工。

## 6.3.2 污水处理站对外部环境的影响。

**6.3.2.1 污水处理站排放的尾水。**污水处理站内部的生产污水主要为污泥干化池滤液等,返回调节池,进入污水处理系统,不会产生新的污染。污水处理站排放的尾水即出水,按照工程设计出水水质能达到排放要求,回用于农田。

**6.3.2.2 噪声。**主要噪声源为水泵机组和风机,该项目设计主要水泵采用潜污泵,非潜污泵采取减震降噪措施;采用低噪声回转式鼓风机,并在底座均加减震措施,进出气管上加装消音器和可曲绕橡胶接头外,把噪声控制到最小程度,噪声对环境的影响不大,可达到《工业企业厂界噪声标准》(GB12348—90)中的要求。

## 7 工程节能、保温

**7.1 节能措施** 污水处理系统消耗的能源主要是电能,其中又以工艺设备为重中之重,为降低指标、减少单位污水处理的成本,设计中采取的节能措施有:通过选择合理的工艺路线,减少污水提升的次数,以减低单位污水处理的能耗;注意设备的合理搭配,处理系统的机电设备选用成熟的高效节能机电产品,可使整个系统始终处于高效运转。

**7.2 保温措施** 该工程无需保温措施,不影响工程运行。

## 8 结论

采用该设计工艺,可以使豆制品生产废水资源化、能源化处理,污染物转化成清洁燃气甲烷,给企业带来较好的经济效益。经测算,年生产沼气 474 500 m<sup>3</sup>,收入 186.65 万元/a;污染物达标排放,年削减 COD 1 839.6 t,年削减 BOD 5 855.6 t,年削减 SS 487.62 t,对周边生态环境有良好的改善,环境效益明显。

## 参考文献

- [1] 林聪. 沼气技术理论与工程[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
- [2] 吕宏德. 水处理工程技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [3] 徐曾符. 沼气工艺学[M]. 北京:农业出版社,1981.
- [4] 王继斌,宋来洲,孙颖. 环保设备选择、运行与维护[M]. 北京:化学工业出版社,2007.
- [5] 于尔捷,张杰. 给水排水工程快速设计手册(2)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1996.
- [6] 张自杰. 排水工程:下册[M]. 4 版. 北京:中国建筑工业出版社,2000.
- [7] 李田,胡汉明. 给水排水工程快速设计手册(5)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [8] 赵欣欣,孙玲,董玉玮,等. 固定化微生物技术及其在污水处理中的应用[J]. 水处理技术,2015(7):17-20.

112.

- [7] OSONO T, TAKEDA H. Comparison of litter decomposing ability among diverse fungi in a cool temperate deciduous forest in Japan[J]. Mycologia, 2002, 94(3):421-427.
- [8] 宣淮翔,安树青,孙庆业,等. 太湖不同湖区水生真菌多样性[J]. 湖泊科学,2011,23(3):469-478.
- [9] GOH T K, HYDE K D. Biodiversity of freshwater fungi[J]. Journal of industrial microbiology, 1996, 17(5/6):328-345.
- [10] HALLSWORTH J E, MAGAN N. Culture age, temperature, and pH affect the polyol and trehalose contents of fungal propagules[J]. Applied and environmental microbiology, 1996, 62(7):2435-2442.

(上接第 63 页)

- [2] WURZBACHER C M, BÄRLOCHER F, GROSSART H P. Fungi in lake ecosystems[J]. Aquatic microbial ecology, 2010, 59(2):125-149.
- [3] 金静,李宝筠. 海洋真菌的研究概况[J]. 菌物学报,2005,24(4):620-626.
- [4] WURZBACHER C, KERR J, GROSSART H P. Aquatic fungi[J]. Nature, 2011, 261(5555):227-258.
- [5] LEI C, CLEMENT K M, ZHANG L K, et al. Aquatic fungi from Lake Fuxian, Yunnan, China[J]. Fungal diversity, 2002, 9(2):57-70.
- [6] LUO J, YIN J F, LEI C, et al. Freshwater fungi in Lake Dianchi, a heavily polluted lake in Yunnan, China[J]. Fungal diversity, 2004, 16(1):93-