

# 屠宰废水脱氮除磷与回用工程设计

张磊<sup>1,2,3</sup>, 王玉红<sup>4</sup>, 季民<sup>3</sup>, 许丹宇<sup>2,4</sup>, 单连斌<sup>1</sup>, 赵勇娇<sup>1</sup>, 王允妹<sup>1</sup>,  
张广鑫<sup>1</sup>, 蒋帅<sup>1</sup>

(1. 沈阳环境科学研究院, 辽宁 沈阳 110167; 2. 天津市环境保护科学研究院, 天津 300191;  
3. 天津大学 环境科学与工程学院, 天津 300072; 4. 中国环境保护产业协会, 北京 110037)

**摘要:** 针对屠宰废水有机物、总氮、总磷浓度高的特点, 采用 EGSB/预缺氧-缺氧-好氧 MBR 反应器组合工艺进行处理。运行结果表明, 该工艺处理效果良好, 出水水质能够达到《城市污水再生利用 城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002) 标准, 并且出水  $TN \leq 50 \text{ mg/L}$ 、 $TP \leq 1 \text{ mg/L}$ 。

**关键词:** 屠宰废水; 脱氮除磷; 污水再生回用; 调试

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)22-0096-04

## Design of Nitrogen and Phosphorus Removal and Reuse Project for Slaughterhouse Wastewater

ZHANG Lei<sup>1,2,3</sup>, WANG Yu-hong<sup>4</sup>, JI Min<sup>3</sup>, XU Dan-yu<sup>2,4</sup>, SHAN Lian-bin<sup>1</sup>,  
ZHAO Yong-jiao<sup>1</sup>, WANG Yun-mei<sup>1</sup>, ZHANG Guang-xin<sup>1</sup>, JIANG Shuai<sup>1</sup>

(1. Shenyang Academy of Environmental Sciences, Shenyang 110167, China; 2. Tianjin Academy of Environmental Science, Tianjin 300191, China; 3. School of Environmental Science and Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 4. China Association of Environmental Protection Industry, Beijing 110037, China)

**Abstract:** Aiming at the characteristics of slaughterhouse wastewater as high concentrations of organics, total nitrogen and total phosphorus, a process integrating EGSB and pre-anoxic/anoxic/aerobic MBR was adopted to treat it. The results showed that the combined process performed well, and the effluent quality met the requirements of *The Reuse of Urban Recycling Water—Water Quality Standard for Urban Miscellaneous Water Consumption* (GB/T 18920 - 2002). Meanwhile, the effluent TN was no more than 50 mg/L and TP was no more than 1 mg/L.

**Key words:** slaughterhouse wastewater; nitrogen and phosphorus removal; wastewater reuse; commissioning

屠宰行业是氮磷排放的重要来源, 已被生态环境部列为总氮总磷排放重点行业。目前, 我国的屠宰废水处理设施大多依据《肉类加工工业水污染物排放标准》(GB 13457—1992) 进行设计建设。该标

准未对总氮、总磷设置排放限值, 因此现有的大量屠宰废水处理设施不具备脱氮除磷能力<sup>[1]</sup>。

原国家环境保护部于2017年开展了对《肉类加工工业水污染物排放标准》(GB 13457—1992) 的修

订工作,在征求意见稿中对总氮、总磷的排放限值提出了相应的要求。可以预见,随着排放标准的日益严格,相关企业均应增加或提升污水处理设施的氮磷处理能力。某生猪屠宰肉制品加工企业根据屠宰废水的特点选取相应的污水处理工艺并合理地进行组合,脱氮除磷效果良好,出水水质稳定达标。

## 1 工程概况

### 1.1 废水水量

该生猪屠宰肉制品加工企业日屠宰量为1 500头,所排放的废水以生产废水为主,主要来自待宰、刺杀放血、烫毛、脱毛、劈半等工序,另包括少量冲洗废水和生活污水。配套设计处理能力为1 000 m<sup>3</sup>/d的污水处理设施,运行时间按24 h/d计算,则设计处理水量为41.67 m<sup>3</sup>/h。

### 1.2 设计进、出水水质

废水中含有大量的血液、油脂、畜毛、肉屑、内脏杂物、未消化的食料和粪便等污染物,呈血红色,并散发腥臭味<sup>[2]</sup>。废水富含蛋白质及油脂,可生化性较好,属于高氮、高磷、高有机废水<sup>[3]</sup>。

按环评要求,出水水质应执行《肉类加工工业水污染物排放标准》(GB 13457—1992)的三级标准。企业为应对未来更加严格的排放标准,并考虑废水的再生回用,故将设计出水标准提高,具体进、出水水质见表1。

表1 设计进、出水水质

Tab.1 Design influent and effluent quality

mg · L <sup>-1</sup>							
项目	COD	BOD <sub>5</sub>	SS	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP	动植物油
设计进水水质	3 500	1 500	1 500	100	120	20	500
GB 13457—1992 三级标准	500	300	400	—	—	—	60
设计出水水质	50	15	10	10	50	1	50

## 2 工艺流程及设计参数

### 2.1 工艺流程

该污水处理站选用A/O工艺进行生物脱氮,化学除磷工艺强化总磷去除。由于厌氧反应器出水碳氮比值较低,不能满足反硝化所需条件<sup>[4]</sup>,因此将少量气浮出水(5%~10%)直接超越至预缺氧池,以充分利用废水中的碳源,减少外加碳源的投加。具体工艺流程如图1所示。

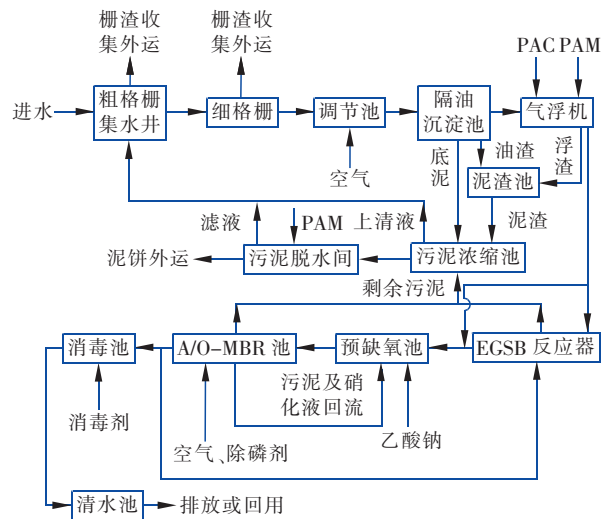


图1 废水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of wastewater treatment process

### 2.2 主要构筑物及设备

① 格栅。设置粗格栅1道,细格栅1道,用于拦截废水中的毛皮、碎肉、内脏杂质等较粗大的漂浮物和颗粒物,防止堵塞水泵,并减轻后续构筑物和设备处理负荷。

粗格栅井1座,地下式砖砌结构,尺寸( $L \times B \times H$ )为3.2 m × 0.55 m × 4.5 m。粗格栅选用回转式格栅,格栅宽为500 mm,栅条间距为3.0 mm。

细格栅井1座,地下式砖砌结构,尺寸为1.8 m × 0.65 m × 4.5 m。细格栅选用转鼓式格栅,转鼓直径为600 mm,栅条间距为1.0 mm。

② 隔油沉淀池。用于去除废水中的动物油脂和悬浮物。1座,半地下式钢筋混凝土结构,尺寸为16.0 m × 3.0 m × 6.0 m,有效容积为144 m<sup>3</sup>。其中泥斗高为2.0 m,缓冲层高为0.5 m,表面负荷为0.86 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> · h)。配置桁车刮泥机1台,上部刮渣,底部刮泥,自动运行。

③ 调节池。用于均化水质、水量。1座,半地下式钢筋混凝土结构,尺寸为9.0 m × 7.2 m × 5.5 m,有效容积为324 m<sup>3</sup>,停留时间为7.77 h。池内安装液位控制器1套;提升泵2台,1用1备,单台流量为45 m<sup>3</sup>/h。池顶加盖,避免恶臭气体逸出;池底设计穿孔曝气管,既可避免废水厌氧腐败,又可防止悬浮物沉积。

④ 气浮机。用于进一步去除废水中的动物油脂、悬浮状凝胶物质及部分总磷。2台,碳钢防腐,单台尺寸为5.7 m × 2.0 m × 2.1 m。单台最大处理

能力为  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ , 配套溶气水泵、空压机、加药装置。

⑤ EGSB 反应器。去除废水中的大部分有机物。2 座, 碳钢防腐, 并联布置。单座尺寸为  $\varnothing 3.5 \text{ m} \times 14.5 \text{ m}$ , 有效容积为  $105.8 \text{ m}^3$ , 水力停留时间为  $5.08 \text{ h}$ , 进水负荷为  $10.0 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ 。

⑥ 预缺氧池。去除污泥回流和硝化液回流中的溶解氧, 为后续的反硝化脱氮提供缺氧环境。1 座, 半地下式钢筋混凝土结构, 有效容积为  $77.0 \text{ m}^3$ , 水力停留时间为  $1.85 \text{ h}$ 。

⑦ A/O - MBR 池。A/O 工艺用于进一步去除废水中的 COD、氨氮、总氮等污染物, 并通过膜组件对出水进行过滤。1 座, 半地下式钢筋混凝土结构, 分为缺氧段和好氧段, 其中缺氧段有效容积为  $138.6 \text{ m}^3$ , 水力停留时间为  $3.32 \text{ h}$ ; 好氧段有效容积为  $303.6 \text{ m}^3$ , 水力停留时间为  $7.28 \text{ h}$ 。设置曝气装置, 气水比为  $20:1$ 。

膜组件采用 PVDF 中空纤维膜, 膜面积约  $3000 \text{ m}^2$ , 设计平均通量为  $16.7 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。出水抽吸泵 2 台, 1 用 1 备, 单台流量为  $50 \text{ m}^3/\text{h}$ , 抽吸  $9 \text{ min}$ , 停止  $1 \text{ min}$ ; 回流泵 3 台, 2 用 1 备, 单台流量为  $50 \text{ m}^3/\text{h}$ ; 污泥泵 1 台, 流量为  $37 \text{ m}^3/\text{h}$ 。另配套膜清洗装置 1 套。

⑧ 消毒池。采用次氯酸钠对出水进行消毒。1 座, 半地下式钢筋混凝土结构, 有效容积为  $37.8 \text{ m}^3$ , 水力停留时间为  $0.91 \text{ h}$ 。

⑨ 清水池。储存污水处理站出水回用。1 座, 半地下式钢筋混凝土结构, 有效容积为  $214 \text{ m}^3$ 。

⑩ 污泥浓缩池。1 座, 地下式钢筋混凝土结构, 有效容积为  $259 \text{ m}^3$ 。池底安装低速潜水搅拌机 2 台, 呈对角放置, 推力为  $145 \text{ N}$ 。

⑪ 污泥处理间及加药间。1 座, 砖混结构, 平面尺寸为  $12.5 \text{ m} \times 7.2 \text{ m}$ 。安装带式污泥浓缩脱水机 1 台, 带宽为  $1500 \text{ mm}$ ; 配套有一体化加药装置 (含计量泵、搅拌机、储药罐) 1 台, 清洗水泵 1 台。加药间与污泥处理间合建, 内设乙酸钠投加系统、聚合氯化铝投加系统和次氯酸钠投加系统各 1 套。乙酸钠投加系统的设计投加量为  $55 \text{ mg/L}$ ; 计量泵 2 台, 1 用 1 备, 单台最大流量为  $15 \text{ L/h}$ , 加药点设置于预缺氧池进水口。聚合氯化铝设计投加量为  $20 \text{ mg/L}$ ; 计量泵 2 台, 1 用 1 备, 单台最大流量为  $15 \text{ L/h}$ , 加药点设置于好氧段进水口处。液态次氯酸钠 (含量为  $10\%$ ) 采用罐体储存及投加, 设计投加量

为  $2 \text{ mg/L}$  (有效氯); 配有机械隔膜式计量泵 2 台, 1 用 1 备, 单台最大流量为  $1.0 \text{ L/h}$ 。

### 3 工程调试运行情况

#### 3.1 系统调试

EGSB 反应器接种的颗粒污泥, 取自附近某养猪场污水处理站的 UASB 反应器, 接种污泥量约为  $10.0 \text{ kgVSS}/\text{m}^3$ 。启动初期, 进水容积负荷控制在  $1.5 \text{ kgCOD}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$ , pH 值为  $6.6 \sim 7.3$ , 每天监测出水 COD、VFA 等指标。当 COD 去除率连续 5 d 稳定达到  $80\%$  以上时, 按设计进水负荷的  $20\%$  逐步提高进水负荷。55 d 后, 反应器进水负荷达到设计负荷, COD 去除率稳定在  $80\%$  左右, 出水 pH 值为  $6.8 \sim 7.2$ 。反应器启动初期的污泥流失现象消失, 颗粒污泥粒径和密度均有增加, 粒径为  $1.5 \sim 4.0 \text{ mm}$ , 表面光滑。

MBR 池接种污泥取自附近某城镇污水处理厂剩余污泥 (含水率为  $80\%$ ), 污泥接种浓度为  $8000 \text{ mg/L}$ 。启动期间开启回流泵, 采用动态培养法。进水量依次按设计值的  $30\%$ 、 $50\%$ 、 $80\%$  至满负荷运行, 当 COD 去除率连续 5 d 稳定达到  $70\%$  以上时, 方可继续提高水力负荷。调试过程中记录膜组件出水管上压力表读数, 如压力增长过快, 则停止负荷增加<sup>[5]</sup>。27 d 后进水量增加至设计值, 此时取样观察, 活性污泥絮凝沉淀性能良好, SVI 值为  $115 \text{ mL/g}$ , 镜检发现存在大量菌胶团和后生生物, 显示污泥接种驯化完成。

#### 3.2 运行效果

污水处理站建成投产后, 经两个月的调试, 各处理单元均正常运行, 出水水质良好, 能够稳定达到设计要求。系统出水水质监测结果见表 2 (连续 5 d 监测结果取平均值)。

表 2 系统运行效果

Tab. 2 Operating results of system

项 目	平均进水水质/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	平均出水水质/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	平均去除 率/%
COD	3 260	37	98.86
BOD <sub>5</sub>	1 482	8.6	99.41
NH <sub>3</sub> - N	98.7	2.53	97.43
TN	122.6	43.7	57.41
TP	19.2	0.83	95.67
SS	900	3.5	99.61
动植物油	350	12	96.57

该污水处理站部分出水回用, 用于待宰圈及车

间的冲洗、厂区绿化等。

#### 4 技术经济指标

运行成本为 2.85 元/m<sup>3</sup>,其中电费为 2.17 元/m<sup>3</sup>,药剂费为 0.43 元/m<sup>3</sup>,污泥处置费为 0.09 元/m<sup>3</sup>,人工费为 0.08 元/m<sup>3</sup>,其他费用(维修、设备折旧等)为 0.08 元/m<sup>3</sup>,未考虑沼气及中水收益。

#### 5 结论

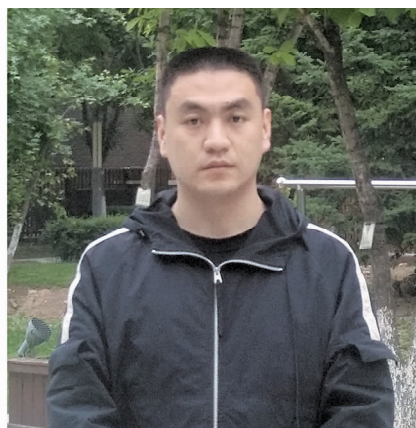
采用 EGSB/预缺氧 - A/O - MBR 组合工艺处理屠宰废水,出水水质可达到《城市污水再生利用城市杂用水水质》(GB/T 18920—2002)标准,且具有良好的脱氮除磷效果。该工艺将少量预处理后的废水超越至预缺氧池,可充分利用废水中的碳源,降低运行费用,单位处理费用为 2.85 元/m<sup>3</sup>。

#### 参考文献:

- [1] 佟爽,赵燕,祝明,等. 屠宰及肉类加工废水处理现状及研究进展[J]. 工业水处理,2019,39(3):6-10.  
Tong Shuang, Zhao Yan, Zhu Ming, *et al.* Current situation and research progress of slaughter and meat processing wastewater treatment [J]. Industrial Water Treatment, 2019, 39(3): 6-10 (in Chinese).
- [2] 蒋彬,王鸿儒,陈桂顶,等. UASB + A/O 组合工艺处理屠宰废水工程技术改造[J]. 水处理技术,2018,44(8):123-125,128.  
Jiang Bin, Wang Hongru, Chen Guiding, *et al.* Technical modification of slaughterhouse wastewater treatment by UASB + A/O combined process [J]. Technology of Water Treatment, 2018, 44(8): 123-125, 128 (in Chinese).
- [3] Bustillo-Lecompte C F, Mehrvar M. Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances[J]. J Environ Manage, 2015, 161(15): 287 -

302.

- [4] 刘士军,陈星,宁晓磊,等. UASB + A/O 工艺处理屠宰废水异常问题原因分析及解决办法探讨[J]. 环境保护科学,2010,36(3):31-34.  
Liu Shijun, Chen Xing, Ning Xiaolei, *et al.* Research on analysis and solutions of unusual problems for slaughter wastewater treatment by UASB + A/O process [J]. Environmental Protection Science, 2010, 36(3): 31-34 (in Chinese).
- [5] 蒋岚岚,陈豪,胡邦,等. 城镇污水处理厂 MBR 工程调试运行及分析[J]. 中国给水排水,2013,29(4):103-108.  
Jiang Lanlan, Chen Hao, Hu Bang, *et al.* Commissioning operation and analysis of MBR project in municipal wastewater treatment plant [J]. China Water & Wastewater, 2013, 29(4): 103-108 (in Chinese).



作者简介:张磊(1986-),男,山东临沂人,博士,工程师,主要从事水污染控制技术的研究及工程设计工作。

E-mail: zanglei86@syhky.com

收稿日期:2019-06-03

坚持节水优先,强化水资源管理