

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.08.024

两级 A/O + 絮凝沉淀处理猪场沼液

张广润, 王白杨, 熊清泉, 陈海红, 姚小文, 刘治庆
(南昌大学 资源环境与化工学院, 江西 南昌 330031)

摘要: 针对猪场沼液含氮磷高、可生化性差等特点,江西某养猪场采用两级 A/O + 絮凝沉淀组合工艺处理猪场沼液,处理规模为 $1\,500\text{ m}^3/\text{d}$,工程总投资为 1 200 万元,运行费用为 $3.30\text{ 元}/\text{m}^3$ 。运行结果表明,经过该组合工艺处理后,COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 去除率分别为 89.3%、99.1%、99.7%,出水各项指标稳定达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的一级排放标准。

关键词: 猪场沼液; 两级 A/O 工艺; 絮凝沉淀

中图分类号: TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)08-0134-05

Treatment of Piggery Bio-slurry by Two-stage A/O, Flocculation and Sedimentation

ZHANG Guang-run, WANG Bai-yang, XIONG Qing-quan, CHEN Hai-hong,
YAO Xiao-wen, LIU Zhi-qing
(College of Environmental Resource and Chemical Engineering, Nanchang University, Nanchang 330031, China)

Abstract: In view of the characteristics of high nitrogen and phosphorus content, poor biodegradability of piggery bio-slurry, the combined process of two-stage A/O, flocculation and sedimentation has been adopted at a pig farm in Jiangxi Province. The treatment capacity is $1\,500\text{ m}^3/\text{d}$, the total project investment is 12 million yuan and operation cost is $3.30\text{ yuan}/\text{m}^3$. The results showed that the removal rates of COD, $\text{NH}_3 - \text{N}$ and $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ were 89.3%, 99.1%, 99.7%, respectively. The effluent indexes met the first-level discharge criteria of *Integrated Wastewater Discharge Standard* (GB 8978 - 1996).

Key words: piggery bio-slurry; two-stage A/O process; flocculation and sedimentation

猪场沼液富含氮、磷、有机物及悬浮物,同时还含有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等多种金属离子,是一种复杂的有机废水^[1]。目前对猪场沼液的处理,以生化和生态处理相结合的技术为主,但由于沼液中成分复杂,简单的工艺组合处理很难实现达标排放^[2-3],因此,需要分阶段采用不同技术逐步降解污染物^[4],从而保证处理过的沼液能够达标排放。

江西某养猪场采用两级 A/O + 絮凝沉淀的组合工艺处理养猪沼液,最终出水的相关指标均稳定达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的一级标准。

1 工程概况

该养猪场年出栏生猪 10 万头,建有 3 座大型沼气池,总容量 $10 \times 10^4\text{ m}^3$;配有沼气发电机厂,装机容量为 2.1 MW。沼气发酵后排出的沼液仍含有大量有机物和高浓度的氮磷物质^[5],亟待进一步处理。

因此该公司新建了一座污水处理厂,主要处理经厌氧消化处理后排放的沼液,处理量为 $1\,500\text{ m}^3/\text{d}$,采用两级 A/O + 絮凝沉淀处理工艺,处理后尾水排放执行《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的一级排放标准。

1.1 废水水质

该污水处理厂处理的废水为经过沼气池厌氧发酵产生的沼液,故该系统的进水以沼气池出水为准,具体指标见表 1。

表 1 废水水质及排放标准

Tab. 1 Wastewater quality and discharge standards

项 目	COD/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{NH}_3 - \text{N}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\text{BOD}_5/(\text{mg} \cdot \text{L}^{-1})$	pH 值
沼液(沼气池出水)	700 ~ 1 100	500 ~ 700	80 ~ 120	600 ~ 800	7.2 ~ 7.8
排放标准	100	15	0.5	30	6.0 ~ 9.0

1.2 工艺流程

沼液处理工艺流程见图 1。

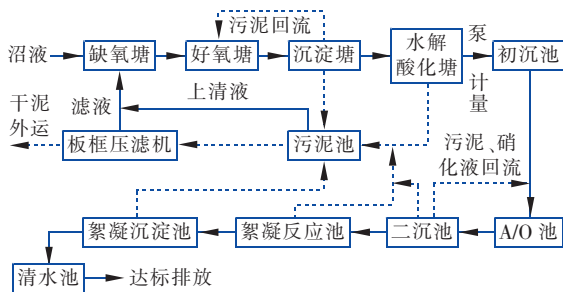


图 1 养猪沼液处理工艺流程

Fig. 1 Piggery bio-slurry treatment process

经前期厌氧消化池处理后的沼液,首先自流入缺氧塘,利用兼氧微生物降解有机物,改善废水可生化性;再自流入好氧塘,好氧微生物大量降解有机物。经过好氧处理的废水自流入沉淀塘,通过重力沉降作用去除部分悬浮物,澄清水质,同时将污泥回流至好氧塘。沉淀塘出水自流入水解酸化塘,利用微生物将大分子有机物转化为小分子有机酸,进一步提高废水的可生化性。经过一级 A/O 生化处理降解了大部分有机物的废水,由潜污泵提升进入初沉池,通过化学沉淀去除部分磷和悬浮物,初沉池出水自流入 A/O 池进行二级生物处理,O 段进一步去除有机物和进行氨氮的硝化反应,同时将硝化液回流至 A 段进行脱氮反硝化反应,O 段处理出水在二沉池进行固液分离,污泥回流至 O 段,保持一定的污泥浓度,污泥中的磷通过排放剩余污泥进入污泥池。出水进入絮凝反应池,絮凝反应池出水进入絮凝沉淀池,通过化学除磷进一步降低磷的浓度,同时去除悬浮物和部分 COD,从而使出水达标排放。

2 主要构筑物及设备

主要构筑物进水流量均按 $62.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 计。

① 缺氧塘

1 座,占地 $2 500 \text{ m}^2$,有效深度 5 m ,坡度 $1:1$,总有效容积 $12 500 \text{ m}^3$,水力停留时间(HRT) 8 d ,采用地下式土基并铺设防渗膜。

② 好氧塘

1 座,占地 $2 500 \text{ m}^2$,有效深度 5 m ,坡度 $1:1$,总有效容积 $12 500 \text{ m}^3$,HRT 为 8 d ,采用地下式土基并铺设防渗膜。

③ 沉淀塘

1 座,占地 880 m^2 ,有效深度为 3 m ,坡度为 $1:1$,总有效容积为 $2 640 \text{ m}^3$,水力表面负荷为 $0.07 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,采用地下式土基并铺设防渗膜。

④ 水解酸化塘

1 座,占地 $2 550 \text{ m}^2$,有效深度 3 m ,坡度 $1:1$,总有效容积 $7 654.5 \text{ m}^3$,HRT 为 5 d ,采用地下式土基并铺设防渗膜。

⑤ 初沉池

1 座,有效容积 262.5 m^3 ,水力表面负荷 $1.19 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,采用地上式钢筋混凝土结构。

⑥ 兼氧池(A 池)

1 座,有效容积 475.3 m^3 ,HRT 为 15.2 h ,采用地上式钢筋混凝土结构。

⑦ 好氧池(O_1 池、 O_2 池)

2 座,单座有效容积 $1 029 \text{ m}^3$,HRT 为 24.7 h ,容积负荷 $0.40 \text{ kgBOD}_5/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$,污泥浓度 $3 500 \text{ mg/L}$,采用地上式钢筋混凝土结构。

⑧ 二沉池

1 座,有效容积 327 m^3 ,HRT 为 5.3 h ,水力表面负荷为 $0.955 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,采用地上式钢筋混凝土结构。

⑨ 絮凝反应池

1 座,有效容积 180 m^3 ,HRT 为 2.9 h ,采用地上式钢筋混凝土结构。

⑩ 絮凝沉淀池

1 座,有效容积 262.5 m^3 ,HRT 为 4.2 h ,水力表面负荷 $1.190 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$,采用地上式钢筋混凝土结构。

⑪ 清水池

1 座,有效容积 95 m^3 ,采用地上式钢筋混凝土结构。

⑫ 污泥池

1座,由物化污泥池、污泥搅拌池、生化污泥池构成。采用地上式钢筋混凝土结构,有效容积为 294 m^3 ,其中物化污泥池尺寸($L \times B \times H$)= $8.7\text{ m} \times$

$3\text{ m} \times 5.5\text{ m}$,污泥搅拌池尺寸($L \times B \times H$)= $3.3\text{ m} \times 3\text{ m} \times 5.5\text{ m}$,生化污泥池尺寸($L \times B \times H$)= $7.6\text{ m} \times 3\text{ m} \times 5.5\text{ m}$ 。

主要设备及参数见表2。

表2 主要设备及参数

Tab.2 Main equipment and parameters

设备	型号、尺寸或技术参数	数量/台	功率/kW	安装位置
提升泵	WQ100-25-11	2	11	水解酸化塘出口
行车	YE2-112M-6	2	2.2	二沉池
搅拌机	转速 35 r/min, 叶轮直径 900 mm	3	1.1	初沉池、絮凝反应池
提升泵	100GW100-25-11	2	11	初沉池
污泥提升泵	WQ60-10-4	4	4.0	污泥池
排泥螺杆泵	G60-1	2	11	污泥池
搅拌机	30 r/min	1	2.2	污泥池
提升泵	WQ45-22-7.5	1	7.5	回流渠
鼓风机	$Q = 30.35\text{ m}^3/\text{min}$, $P = 53.9\text{ kPa}$	5	45	风机房
板框压滤机	120 m^2	2	3.0	污泥堆棚
加药泵	25FP(D)-10	6	0.55	加药间
加药泵	G25-1	2	1.5	加药间
pH计	pHG1000	3		A/O池、二沉池、絮凝沉淀池
DO仪	DO2000	2		好氧池
管式曝气器	$\phi 65\text{ mm}$	5		好氧池
吸泥泵	80WQR40-15-3	2	3	二沉池

3 实际运行效果及分析

3.1 反应器启动

A/O池接种来自江西省某猪场的活性污泥,每池接种50 t。启动初期投加沼液,间歇运行,闷曝2 d,然后排出一部分水,加入沉淀池出水,如此反复驯化,逐渐增大进水负荷,15 d后连续进水运行,好氧池曝气量增大,DO逐渐下降,微生物明显增长,每天监测反应池的 SV_{30} ,使其维持在35%左右,保持足够的污泥量,污泥浓度为 $3\ 500\text{ mg/L}$ 左右,系统启动成功。1个月后,反应池中污泥沉降速度快,泥

水分离迅速,出现大量黄褐色絮状污泥,有土腥味,污泥驯化良好。为达到较好的氨氮去除率,需控制A池pH值为 $7.3 \sim 7.8$,DO为 $0.1 \sim 0.5\text{ mg/L}$;O₁池pH值为 $7.0 \sim 8.0$,DO为 $2 \sim 4\text{ mg/L}$;O₂池pH值为 $7.0 \sim 8.0$,DO为 $6 \sim 8\text{ mg/L}$,硝化液回流比为200%,污泥回流比为75%。

3.2 稳定运行效果

该工程于2018年春季开始启动调试,两个月后系统正常运行,出水达标排放。8月份进行了为期一个月的水质监测,结果见表3。

表3 组合工艺对猪场沼液的去除效果

Tab.3 Removal effect of piggery bio-slurry by combined treatment process

日期	NH ₃ -N			PO ₄ ³⁻ -P			COD		
	进水/ (mg·L ⁻¹)	出水/ (mg·L ⁻¹)	去除 率/%	进水/ (mg·L ⁻¹)	出水/ (mg·L ⁻¹)	去除 率/%	进水/ (mg·L ⁻¹)	出水/ (mg·L ⁻¹)	去除 率/%
8月1日	493	9.10	98.2	90	0.42	99.5	730	92	87.4
8月6日	620	5.32	99.1	92	0.14	99.8	793	88	88.9
8月11日	441	7.63	98.3	82	0.42	99.5	1 048	100	90.5
8月16日	530	9.55	98.2	92	0.45	99.5	786	78	90.1
8月21日	493	0	100	118	0.48	99.6	655	90	86.3
8月26日	573	1.47	99.7	123	0.23	99.8	973	88	91.0
8月31日	572	0.26	99.9	95	0.12	99.9	964	86	91.1

由表 3 可知,猪场每日产生的沼液水质有一定波动,经过两级 A/O 串联和絮凝沉淀处理,在 pH 值、溶解氧满足要求的情况下,系统具有一定的耐冲击负荷能力,两级 A/O 工艺不但能有效去除高负荷 COD,对 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的去除效果也非常好,对 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的去除率分别为 89.3%、99.1%、99.7%。由于经过两级 A/O 处理过的沼液 COD 仍然无法达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的一级标准,因此后续通过絮凝沉淀的方法,投加 PAC、PAM 去除总磷、悬浮物以及部分 COD,保证出水水质稳定达标。

一级 A/O 反应对 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的去除效果见图 2。

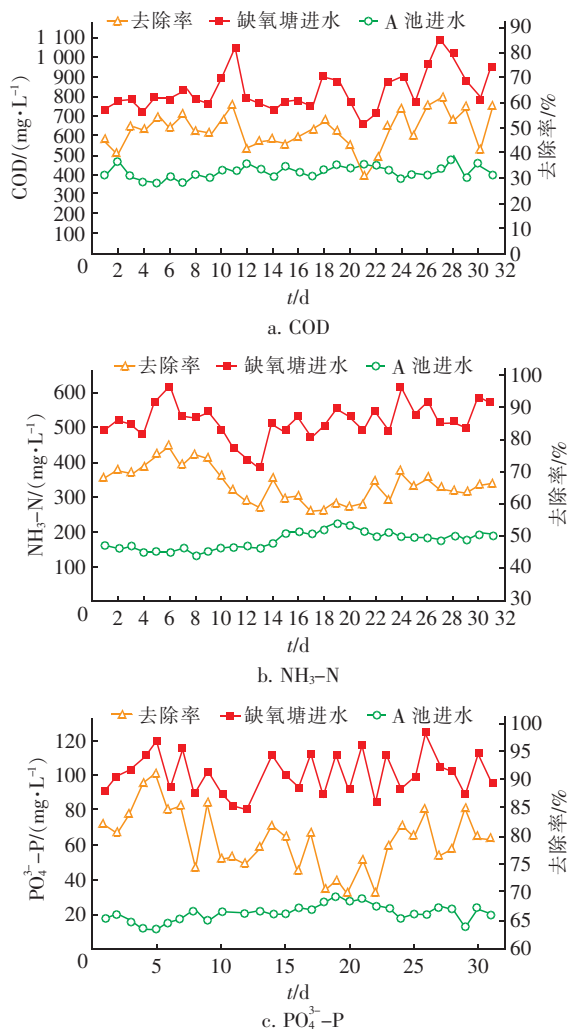


图 2 一级 A/O 对 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的去除效果

Fig. 2 Removal effect of COD, $\text{NH}_3 - \text{N}$ and $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ by

first stage A/O

二级 A/O 反应对 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 去除

效果见图 3。

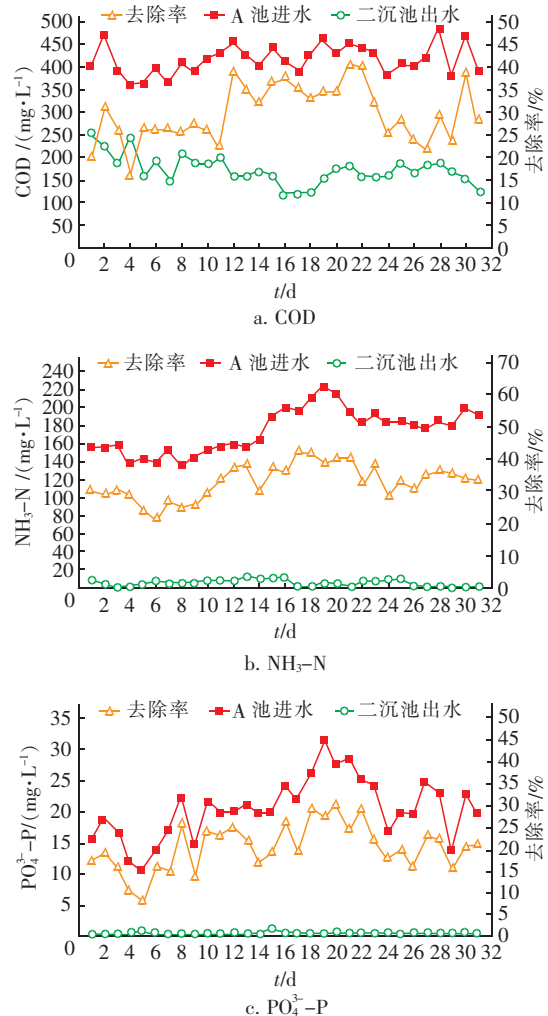


图 3 二级 A/O 对 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 和 $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 的去除效果

Fig. 3 Removal effect of COD, $\text{NH}_3 - \text{N}$ and $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ by

second stage A/O

絮凝沉淀对 COD 去除率见图 4。

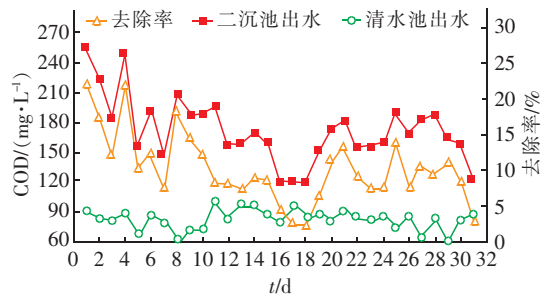


图 4 絮凝沉淀对 COD 去除效果

Fig. 4 Removal effect of COD by flocculation and

sedimentation

4 技术经济分析

该工程总投资为 1 200 万元。废水处理成本:

人工费为0.43元/m³,药剂费为2.35元/m³,污泥处理费为0.4元/m³,其他费用为0.12元/m³,水、电由该养猪场厂自供,故不计消耗,合计运行费用为3.30元/m³。

5 出现的问题及解决方法

① 二沉池污泥上浮。硝化液回流比低,A/O池出水会携带硝态氮和亚硝态氮进入沉淀池,污泥在沉淀池中发生反硝化作用,产生的N₂附着在污泥上使之上浮^[6]。加大硝化液回流比后,反硝化彻底,脱氮效果明显,可有效防止二沉池污泥上浮。

② 出水发黄和pH值偏低。发生硝化反应时,因硝化消耗碱度,pH值会降低;当含磺酸基团的有机物被降解时pH值会降低;出水发黄主要是由硝化反应引起的^[7]。投加石灰(主要成分为CaO)补充碱度,以满足硝化对碱度的需求。投加活性炭吸附出水中产色杂质,使水质澄清。

③ 曝气池上产生大量泡沫并溢出。产生泡沫的原因主要是污泥负荷太大。处理措施:增加一台鼓风机提高溶解氧,提高废水在曝气池的停留时间,并在曝气池周围架设防渗板。

6 结论

采用两级A/O-絮凝沉淀工艺处理猪场沼液,处理效果良好,系统稳定运行,各项指标均达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的一级标准,可为其他猪场沼液处理提供参考。

参考文献:

- [1] 章萍,王天琪,万金保,等. 养猪场沼液处理方法的研究进展[J]. 中国沼气,2013,31(6):22-24,34.
ZHANG Ping, WANG Tianqi, WAN Jinbao, *et al.* A review on research progress of treating piggery biogas slurry[J]. China Biogas, 2013, 31(6): 22-24, 34 (in Chinese).
- [2] 逮延军,郭冀峰,石磊. 养殖废水处理工程工艺的改进[J]. 水处理技术,2015,41(4):125-127,131.
LU Yanjun, GUO Jifeng, SHI Lei. Improvement in the treatment process of aquaculture wastewater [J]. Technology of Water Treatment, 2015, 41(4): 125-127, 131 (in Chinese).
- [3] 王亮,陈重军,陈英旭,等. 规模化猪场养殖废水UASB-SFSBR-MAP处理工艺中试研究[J]. 环境科学, 2013, 34(3): 979-985.
WANG Liang, CHEN Chongjun, CHEN Yingxu, *et al.* Effect of pilot UASB-SFSBR-MAP process for the large scale swine wastewater treatment [J]. Environmental Science, 2013, 34(3): 979-985 (in Chinese).
- [4] 段跟定,张胜利. UASB-曝气吹脱-混凝-五段Bardenpho组合工艺处理养猪废水工程案例[J]. 给水排水, 2018, 44(2): 56-60.
DUAN Gending, ZHANG Shengli. Case study of combined UASB, air stripping, coagulation five-stage Bardenpho process for piggery wastewater treatment [J]. Water & Wastewater Engineering, 2018, 44(2): 56-60 (in Chinese).
- [5] ALBERT M, FABRICE B, PATRICK D. Feasibility and interest of the Anammox process as treatment alternative for anaerobic digester supernatants in manure processing: an overview [J]. Journal of Environment Management, 2013, 131(6): 170-184.
- [6] 王白杨,陈莉,龚小明,等. UASB+A/O+BAF处理高浓度氨氮废水[J]. 环境工程, 2011, 29(2): 55-57.
WANG Baiyang, CHEN Li, GONG Xiaoming, *et al.* Study on the combination of UASB+A/O+BAF treating organic wastewater with high concentration ammonia-nitrogen [J]. Environmental Engineering, 2011, 29(2): 55-57 (in Chinese).
- [7] 王白杨,刘英辉,吴星. 医药化工园区综合污水处理厂改进与优化运行[J]. 中国给水排水, 2014, 30(22): 119-122.
WANG Baiyang, LIU Yinghui, WU Xing. Improvement and optimization operation of comprehensive sewage treatment plant in pharmaceutical and chemical industrial park [J]. China Water & Wastewater, 2014, 30(22): 119-122 (in Chinese).

作者简介:张广润(1996-),男,江西九江人,硕士研究生,研究方向为废水处理技术。

E-mail: 1317172478@qq.com

收稿日期:2019-04-25

修回日期:2020-07-09

(编辑:衣春敏)