

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.06.020

# 楼房养猪废水处理工程实例及分析

杨彦飞<sup>1</sup>, 田启平<sup>2</sup>, 杨瑾<sup>1</sup>, 余铭铨<sup>1</sup>, 谭谈<sup>1</sup>

(1. 中国电建集团环境工程有限公司, 浙江 杭州 310016; 2. 浙江省机电设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310051)

**摘要:** 采用预处理/C-UASB/两级AO/化学沉淀/Fenton工艺处理楼房养猪废水,其中Fenton处理单元在土地消纳能力有限的情况下启用,处理规模为360 m<sup>3</sup>/d。运行结果表明,在设计条件下,预处理/C-UASB/两级AO/化学沉淀工艺运行稳定,出水SS为84.1 mg/L,COD为126.7 mg/L,BOD<sub>5</sub>为33.7 mg/L,NH<sub>3</sub>-N为16.3 mg/L,TN为34.9 mg/L,TP为4.1 mg/L,达到《畜禽养殖业污染物排放标准》(二次征求意见稿)。Fenton处理工艺调试启用后,出水SS为27.4 mg/L,COD为52.5 mg/L,BOD<sub>5</sub>为15.1 mg/L,NH<sub>3</sub>-N为4.9 mg/L,TN为14.6 mg/L,TP为2.1 mg/L,达到上海市《畜禽养殖业污染物排放标准》(DB 31/1098—2018)表3中的直接排放标准。

**关键词:** 楼房养猪废水; C-UASB; 两级AO; Fenton工艺

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2022)06-0103-04

## Case and Analysis of Swine Wastewater Treatment Project in Building

YANG Yan-fei<sup>1</sup>, TIAN Qi-ping<sup>2</sup>, YANG Jin<sup>1</sup>, YU Ming-quan<sup>1</sup>, TAN Tan<sup>1</sup>

(1. PowerChina Group Environmental Engineering Co. Ltd., Hangzhou 310016, China; 2.

Zhejiang Institute of Mechanical & Electrical Engineering Co. Ltd., Hangzhou 310051, China)

**Abstract:** The integrated process of pretreatment, C-UASB, two-stage AO, chemical precipitation and Fenton process is applied to treat swine wastewater in building. The Fenton treatment unit with scale of 360 m<sup>3</sup>/d is activated under the condition of limited land capacity. The operation results show that the pretreatment, C-UASB, two-stage AO and chemical precipitation processes operate stably under the design conditions. The effluent SS, COD, BOD<sub>5</sub>, NH<sub>3</sub>-N, TN and TP are 84.1 mg/L, 126.7 mg/L, 33.7 mg/L, 34.9 mg/L and 4.1 mg/L respectively, meeting the *Discharge Standard of Pollutants for Livestock and Poultry Breeding* (second draft for comments). After commissioning the Fenton treatment process, the effluent SS, COD, BOD<sub>5</sub>, NH<sub>3</sub>-N, TN and TP are 27.4 mg/L, 52.5 mg/L, 15.1 mg/L, 4.9 mg/L, 14.6 mg/L, and 2.1 mg/L respectively, which meets the direct discharge standard in table 3 of local *Discharge Standard of Pollutants for Livestock and Poultry Breeding* (DB 31/1098-2018) in Shanghai.

**Key words:** swine wastewater in building; C-UASB; two-stage AO; Fenton process

2019年12月,自然资源部、农业农村部联合发布《关于设施农业用地管理有关问题的通知》,明确养殖设施可建设多层建筑。楼房养猪在节省土地、

节省劳力、生物安全和病疫防控等方面具有独特的优势。许多大型、集团化养猪企业开始投资建设楼房养猪项目,促使楼房养猪业快速发展。与传统平

通信作者: 田启平 E-mail: 52750548@qq.com

房养殖相比,楼房养猪项目产生的废水水量大、污染物浓度更高,处理难度更大。传统平房养猪项目废水处理排放标准一般执行《农田灌溉水质标准》(GB 5084—2005)旱作标准和《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB 18596—2001),但楼房养猪项目建设地一般在城市周边,其可消纳废水的土地有限。为提高单位土地面积废水的消纳量,南京高淳某楼房养猪项目以《畜禽养殖业污染物排放标准》(二次征求意见稿)和上海市《畜禽养殖业污染物排放标准》(DB 31/1098—2018)表 3 标准为排放标准,设计、建设了废水处理工程。经调试,该项目处理工艺运行稳定,出水水质达标。

### 1 楼房养猪废水处理工程设计

#### 1.1 处理规模及水质

根据类似项目统计,楼房养猪项目不同猪群废水产量:母猪和公猪均为 18 L/(头·d),保育猪为 6 L/(头·d),育肥猪为 8 L/(头·d)。为保障高峰期运行稳定,按猪只规模算出废水总量后,乘以 1.2 的安全系数。该楼房养猪项目养殖规模为 36 000 头育肥猪,废水设计处理规模为 360 m<sup>3</sup>/d。

楼房养猪废水主要来自猪只尿液、圈舍冲洗等,因楼房养猪猪舍结构的特殊性,圈舍的清粪方式一般采用一楼干清粪、二楼及以上水泡粪的形式,废水排入粪沟储存一定时间,待粪沟装满后批次排出。废水水量不均匀,水力冲击大,且因多为水泡粪形式,故楼房养猪废水固液混杂,水质污染物浓度高,COD 为 22 000 mg/L,BOD<sub>5</sub> 为 9 000 mg/L,NH<sub>3</sub>-N 为 810 mg/L,TN 为 900 mg/L,SS 为 12 000 mg/L,TP 为 150 mg/L。

#### 1.2 处理工艺

养猪废水处理工艺流程见图 1。

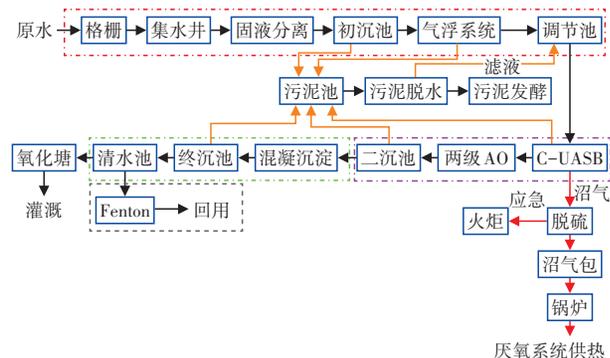


图 1 养猪废水处理工艺流程

Fig.1 Flow chart of swine wastewater treatment process

该楼房养猪废水处理工艺包括预处理、厌氧、好氧、化学沉淀和 Fenton 深度处理。预处理主要包括粗细格栅、固液分离机、辐流式初沉池、气浮池和调节池,主要作用是高效去除 SS 和均匀水质水量。经过格栅、固液分离机、沉淀和气浮处理后,SS 保持在 100~150 mg/L。C-UASB 与传统 UASB 不同,为平衡进入 AO 系统的 C/N 比,在 UASB 出水端设置综合调质罐,将 UASB 出水和调节池出水按一定比例调配,平衡好氧生化系统碳氮比,确保后续生化系统的脱氮效率。两级 AO 主要作用是进一步降低有机污染物浓度和脱氮除磷。混凝沉淀进一步去除 SS 和总磷,确保出水水质达到《畜禽养殖业污染物排放标准》(二次征求意见稿)后进入氧化塘,用于农田、林地、果园等浇灌。Fenton 处理单元在土地消纳能力有限的情况下启用,经 Fenton 工艺处理后出水可以达到《畜禽养殖业污染物排放标准》(DB 31/1098—2018)表 3 的直接排放标准。

预处理、生化、深度处理产生的污泥经过浓缩、储存、脱水后与厂区固粪统一好氧发酵,制作有机肥。沼气通过脱硫、脱水、存储后进入锅炉能源回收,用于保持厌氧反应器热量平衡,另外设置火炬应急燃烧装置。

#### 1.3 主要构筑物设计参数

① 初沉池。采用半地上式钢混结构、辐流式初沉池,尺寸为  $\varnothing 7\text{ m} \times 5.0\text{ m}$ ,表面负荷为  $0.40\text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ ,配中心筒及刮泥机和污泥泵 2 台(1 用 1 备)。

② 气浮池。采用全地上式钢混结构,尺寸为  $5.0\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 3.0\text{ m}$ ,处理能力为  $25\text{ m}^3/\text{h}$ ,配有溶气罐、空压机、回流水泵、搅拌机 etc。

③ UASB。UASB 主罐体为碳钢防腐结构,外包装岩棉保温,尺寸为  $\varnothing 14\text{ m} \times 15\text{ m}$ ,HRT 为 6.1 d,UASB 罐体中设置加热盘管,配 2 台循环泵(1 用 1 备)。

④ 两级 AO 生化池。采用半地上式钢混结构,分为 2 格,一级 A 池尺寸为  $20\text{ m} \times 10\text{ m} \times 6\text{ m}$ ,HRT 为 3.1 d,一级 O 池尺寸为  $20.0\text{ m} \times 15.5\text{ m} \times 6.0\text{ m}$ ,HRT 为 4.7 d,二级 A 池尺寸为  $20\text{ m} \times 4\text{ m} \times 6\text{ m}$ ,HRT 为 1.2 d,二级 O 池尺寸为  $20\text{ m} \times 5\text{ m} \times 6\text{ m}$ ,HRT 为 1.5 d。O 池采用微孔曝气,配套有 2 台罗茨风机,溶解氧为  $2.0\text{ mg/L}$ ,污泥浓度(MLSS)为  $4.0\text{ g/L}$ ,两级 AO 生化池污泥回流比 50%,硝化液回流比 400%。

硝化液回流泵2台(1用1备)。

⑤ 二沉池。采用半钢混结构,尺寸为 $\varnothing 6\text{ m}\times 6\text{ m}$ ,表面负荷 $0.53\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ,配有2台污泥泵,1用1备。

⑥ 混凝沉淀池。采用半地上式钢混结构,尺寸为 $8.2\text{ m}\times 1.5\text{ m}\times 5.0\text{ m}$ ,HRT为3.5 h,配有混凝、絮凝搅拌机各1台。

⑦ 终沉池。采用半地上式钢混结构,尺寸为 $\varnothing 5.0\text{ m}\times 5.5\text{ m}$ ,表面负荷 $0.76\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ ;配有2台污泥泵(1用1备)。

⑧ 氧化塘。采用半地上结构,氧化塘底部及四周铺设防渗黑膜。氧化塘为不规则形状,停留时间63 d。

⑨ 芬顿池。采用全地上式钢混结构,防腐,尺寸为 $3.5\text{ m}\times 2.5\text{ m}\times 4.5\text{ m}$ ,HRT为2.3 h。

#### 1.4 冬季运行注意事项

温度是决定废水厌氧生物处理效率的关键因素,中温段(30~40℃)温度越高,产甲烷菌活性的增长速率越大,相应UASB反应效率也越高。实际工程中UASB的运行温度一般控制在30~35℃。该工程冬季C-UASB废水温度低于20℃,需考虑C-UASB反应系统的增温保温问题。保温措施是在C-UASB罐体外包裹岩棉,岩棉外侧用彩钢板固定。增温措施是设置锅炉,UASB产生的沼气净化后送入锅炉,实现热量回收。锅炉选用沼气、天然气两用型号。C-UASB反应需热量按下式计算:

$$Q = Q_1 + Q_2 - Q_3 \quad (1)$$

式中: $Q$ 为总需热量,kJ/h; $Q_1$ 为加热废水到设计温度需要的热量,kJ/h; $Q_2$ 为罐体、管道散发的热量,kJ/h; $Q_3$ 为UASB产生的沼气产生的热量,kJ/h。

如果罐体和管道采取保温措施, $Q_2$ 可不做考虑。

冬季C-UASB采取增温保温措施,不仅提高了UASB的去除效率,而且为后续硝化反硝化的正常运行温度提供了保障。

## 2 生产性调试及运行

### 2.1 C-UASB系统调试

C-UASB反应器调试分为污泥接种、逐级驯化和满负荷运行3个阶段。接种污泥来自附近城镇污水厂的消化池污泥,含水率为96%,投加量为 $400\text{ m}^3$ 。第二阶段按设计水量的20%、40%、60%、80%、100%阶次增加进水量,每个阶段去除效率达到60%及以上时则进入下一阶段提水量调试,直到C-UASB接近满负荷运行,COD去除率高于60%。该段调试历时50 d。

### 2.2 二级AO系统调试

二级AO系统调试分3个阶段:第一阶段,接种附近城镇污水厂好氧池脱水新鲜污泥 $100\text{ m}^3$ ,污泥含水率80%。池内注入1/3的C-UASB出水,其余为清水,开启罗茨风机,闷曝2 d。第二阶段,按设计水量的40%、70%、100%进水。调整曝气量,确保好氧池溶解氧约为 $3\text{ mg/L}$ ,当好氧池内pH值升至7.0以上,污泥沉降性良好, $SV_{30}>20\%$ 时开始增加水量。依此进行,45 d后达到设计水量。第三阶段,调节内回流比,使好氧池pH值保持在7.5~8.0,开始定时定量排泥,控制好氧池内的污泥负荷为 $0.2\text{ kgBOD}_5/(\text{kgMLSS}\cdot\text{d})$ ,对COD、 $\text{BOD}_5$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的去除率达到97%以上,系统连续稳定运行。

## 3 运行效果

2020年9月,该工程进入稳定运行阶段,连续采集9月的运行数据,如表1所示。

表1 2020年9月稳定运行期的运行效果

Tab.1 Operation effect of stable period in September 2020

项目	预处理系统			C-UASB		两级AO		化学沉淀		总去除率/%	排放限值/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$
	进水/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	出水/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	去除率/%								
SS	10 150.6	152.6	98	138.9	9.0	100.5	27.6	84.1	16.4	99.2	150
COD	21 105.6	16 850.6	20	6 841.5	59.4	179.5	97.4	126.7	29.4	99.4	150
$\text{BOD}_5$	8 521.6	6 450.5	24	3 015.8	53.2	49.2	98.4	33.7	31.4	99.7	40
$\text{NH}_3\text{-N}$	801.5	754.5	6	761.2	-0.9	17.6	97.7	16.3	7.5	98.0	40
TN	880.7	792.6	10	785.9	0.8	38.4	95.1	34.9	8.9	96.0	70
TP	147.2	82.9	44	76.5	7.7	10.1	86.8	4.1	59.0	97.2	5

2020年9月共处理水量 $10\ 716.72\text{ m}^3$ ,日最高处理水量为 $371.26\text{ m}^3/\text{d}$ ,日最低处理水量为

$342.48\text{ m}^3/\text{d}$ 。系统运行稳定,出水SS均值为 $84.1\text{ mg/L}$ ,总去除率为99.2%;COD均值为 $126.7\text{ mg/L}$ ,

总去除率为99.4%;BOD<sub>5</sub>均值为33.7 mg/L,总去除率为99.7%;NH<sub>3</sub>-N均值为16.3 mg/L,总去除率为98.0%;TN为均值34.9 mg/L,总去除率为96.0%;TP均值为4.1 mg/L,总去除率为97.2%,达到《畜禽养殖业污染物排放标准》(二次征求意见稿)。

Fenton系统只在土地消纳能力有限的情况下启用。经调试,Fenton系统处理效果见表2。

表2 Fenton系统调试效果

Tab.2 Commissioning effect of Fenton system

项目	进水/ (mg·L <sup>-1</sup> )	出水/ (mg·L <sup>-1</sup> )	去除率/%	排放限值/ (mg·L <sup>-1</sup> )
SS	84.1	27.4	67.4	30
COD	126.8	52.5	58.6	60
BOD <sub>5</sub>	33.7	15.1	55.2	20
NH <sub>3</sub> -N	16.3	4.9	69.9	5
TN	34.9	14.6	58.2	15
TP	4.1	2.1	48.8	5

Fenton处理单元反应时间为2.3 h,调试期间运行稳定,出水SS为27.4 mg/L,去除率为67.4%;COD为52.5 mg/L,去除率为58.6%;BOD<sub>5</sub>为15.1 mg/L,去除率为55.2%;NH<sub>3</sub>-N为4.9 mg/L,去除率为69.9%;TN为14.6 mg/L,去除率为58.2%;TP为2.1 mg/L,去除率为48.8%,出水水质达到上海市《畜禽养殖业污染物排放标准》(DB 31/1098—2018)表3中的直接排放标准。

#### 4 效益分析

##### ① 环境效益

楼房养猪废水污染物浓度高,废水产量大,该楼房养猪废水处理工程运行,每年削减COD 1 951 t、氨氮94 t、总氮99 t、总磷19 t,削减了面源污染,对保护当地土壤环境和水环境起到重要作用。

##### ② 运行成本

稳定运行期间的运营成本:电费6.92元/m<sup>3</sup>,药剂费1.77元/m<sup>3</sup>,人工费1.33元/m<sup>3</sup>,合计10.02元/m<sup>3</sup>。

#### 5 注意事项

SS对氨氮的去除效率影响明显<sup>[1]</sup>,两级AO系

统中的SS浓度需在150 mg/L以下,所以预处理对SS的去除效率需达到98%,以确保后续系统正常运行。为保证脱氮效率,在UASB与两级AO之间设置综合调质罐,将UASB出水和调节池出水进行调配,使进入AO系统的废水BOD<sub>5</sub>/TKN≥4,生化系统无需添加碳源。硝化池pH值应维持在7.0~8.2,以满足硝化反应所需碱度要求。

冬季C-UASB系统需采用增温保温措施,使C-UASB出水温度维持在30℃左右。

#### 6 结论

楼房养猪废水产生量大、污染物浓度高、水质复杂。采用预处理/C-UASB/两级AO/化学沉淀/Fenton工艺处理楼房养猪废水,设计UASB停留时间6.1 d,两级A/O停留时间10.5 d,出水水质满足《畜禽养殖业污染物排放标准》(二次征求意见稿)和上海市《畜禽养殖业污染物排放标准》(DB 31/1098—2018)表3中的直接排放标准。

综合调质罐为调节进入生化系统的营养平衡起到关键作用,不仅可提高生化系统脱氮总效率,而且节约了投加碳源的药剂成本。

#### 参考文献:

[1] 汪文强,王电站,颜成,等. 常规生化/物化工艺处理猪场废水效果及存在问题[J]. 中国给水排水,2019,35(21):24-31.

WANG Wenqiang, WANG Dianzhan, YAN Cheng, et al. Efficiency and problems in conventional biochemical/physicochemical combined process for swine wastewater treatment [J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(21):24-31(in Chinese).

作者简介:杨彦飞(1988—),女,浙江杭州人,硕士,工程师,主要从事工业废水、市政污水处理技术研发、工程规划设计工作。

E-mail: 1019350081@qq.com

收稿日期:2021-01-13

修回日期:2021-02-19

(编辑:衣春敏)