

# 常规生化/物化工艺处理猪场废水效果及存在问题

汪文强<sup>1</sup>, 王电站<sup>1</sup>, 颜成<sup>2</sup>, 叶韬<sup>1</sup>, 邬振江<sup>2</sup>, 梁剑茹<sup>1</sup>, 周立祥<sup>1</sup>

(1. 南京农业大学 资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095; 2. 南京贝克特环保科技有限公司, 江苏 南京 211505)

**摘要:** 常规生化/物化组合工艺常被中、大型养殖场用于其废水达标排放处理,但长期运行效果和经济性却鲜有报道。以广东惠州某5万头猪场已运行10多年的污水处理站为研究对象,进行了连续3个多月现场采样,重点跟踪测定各单元进、出水水质,以探究其实际处理效果、存在问题及其原因。结果表明:猪场废水的有机物含量高,COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN和TP浓度最高达到15 875、1 680、1 838和1 022 mg/L;经常规A/O生化处理后,COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP浓度仍达到646.9~1 593、130~573、43.5~103.2 mg/L,不能达标,需进行物化处理;通过芬顿高级氧化和化学混凝处理后,出水COD和TP浓度可稳定达标,但氨氮浓度仍在150 mg/L以上,明显超标;运行成本高,直接运行成本达到17.8元/ $\text{m}^3$ 。研究还发现,猪场废水处理难以达标的主要原因在于废水中SS浓度太高,使水中COD和磷大都以颗粒态或“惰性”形态存在,溶解性COD和磷相对较少,相对较难生化完全;此外,沼液在A/O生化单元的停留时间较短也是重要原因。因此,设法在进入生化池前尽可能地去除SS,使进入生化池废水的污染物主要以溶解性组分为主;通过扩大池容等方式适度延长水力停留时间,可有效提高处理效率和降低处理成本。

**关键词:** 猪场废水; 生化处理; 物化处理; 芬顿高级氧化; 影响因素

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)21-0024-08

## Efficiency and Problems in Conventional Biochemical/Physicochemical Combined Process for Swine Wastewater Treatment

WANG Wen-qiang<sup>1</sup>, WANG Dian-zhan<sup>1</sup>, YAN Cheng<sup>2</sup>, YE Tao<sup>1</sup>, WU Zhen-jiang<sup>2</sup>,  
LIANG Jian-ru<sup>1</sup>, ZHOU Li-xiang<sup>1</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2. Nanjing BACT Environmental Solutions Co. Ltd., Nanjing 211505, China)

**Abstract:** The conventional biochemical/physicochemical combined process is often applied to treat swine wastewater. However, information on the practical treatment efficiency and costs in long-term operation is limited. Quality of the influent and effluent from different treatment units at Huizhou Swine Wastewater Treatment Station (HSWWTS) located in Guangdong Province was investigated for more than three consecutive months. HSWWTS had been using a combined biochemical and physicochemical processes, namely A/O and Fenton reaction, for more than ten years. It was observed that the highest concentrations of COD,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , TN, and TP in the tested swine wastewater reached 15 875 mg/L,

1 680 mg/L, 1 838 mg/L and 1 022 mg/L, respectively. The effluent COD,  $\text{NH}_3 - \text{N}$  and TP from the conventional biochemical unit were in ranges of 646.9 – 1 593 mg/L, 130 – 573 mg/L, and 43.5 – 103.2 mg/L, which failed the discharge standard. Fenton reaction followed by the chemical coagulation was applied to further treat the effluent from the secondary clarifier.  $\text{NH}_3 - \text{N}$  was not substantially removed and more than 150 mg/L in effluent, although the effluent COD and TP completely met the standard. Furthermore, the operational cost of using such a combined process was as high as 17.8 yuan/ $\text{m}^3$ . It was found that high concentration of SS was the major obstacle for the effluent to meet the discharge standard. As a result, most COD and P in swine wastewater existed in the forms of granular or “inert” COD and P, which was too difficult to be biodegraded by activated sludge. In addition, the short HRT of anaerobic fermentation slurry in the A/O biological treatment unit reduced the removal efficiency of pollutants. Therefore, to improve the effluent quality, a critical strategy was to completely remove SS before anaerobic fermentation swine slurry entered the A/O biochemical treatment unit. Enlarging the tank volume of the A/O unit could extend HRT, which should be considered as well.

**Key words:** swine wastewater; biochemical treatment; physicochemical treatment; Fenton advanced oxidation; influence factor

随着我国农业产业结构的调整,规模化、集约化畜禽养殖业发展迅速。近10年来,全国年生猪出栏量从6.61亿头上升到7.08亿头,500头以上规模化猪场增加了19.6万家,特别是万头以上规模化猪场涨幅超过245%<sup>[1-2]</sup>。我国畜禽养殖方式正迅速从散养化向专业化、规模化养殖转变。然而,随着畜禽养殖数量的快速增长,环境问题也越来越突出,畜禽养殖业的污染排放已成为我国最重要的农业面污染源之一<sup>[3-4]</sup>。

与散户养殖方式不同,规模化养殖场尤其是存栏万头以上的猪场若没有足够的配套农地消纳或综合利用其产生的畜禽粪污,则采用环保达标型处理模式是一个必须的选项<sup>[5-7]</sup>,如采用厌氧/好氧生化处理或生化处理与物化处理相结合,实现达标排放或回用<sup>[8-9]</sup>。课题组曾报道过某规模化猪场废水的生化处理效果,发现常规二级生化出水的COD、氨氮和总磷浓度都很难稳定达标,需要大大延长生化处理单元的水力停留时间(HRT)并采用化学混凝进一步处理才能勉强达标<sup>[10]</sup>。为有效处理高氨氮猪场废水,一些养殖场采用常规二级生化处理与高级氧化等物化处理相结合的方式<sup>[11-12]</sup>,但对规模化猪场废水处理工程的连续较长时间的水质监测结果以及实际成本构成的报道并不多见,在实际工程运行中影响处理效果和运行成本的关键因素也缺乏实际数据支撑。为此,笔者以广东惠州某出栏5万头生猪的规模化猪场污水处理设施(典型的二级生

化处理/物化处理组合工艺)为研究对象进行了3个多月的实地调研,探讨该组合工艺的处理效果、经济成本以及影响因素,旨在为针对性地提出基于提高规模化猪场废水处理效率、缩短处理流程、降低处理成本的新处理工艺提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 猪场概况

该猪场为全程饲养式养殖模式的规模化养殖场,2004年通过国家无公害认证、ISO9000质量体系认证,2016年出栏量为5万头。该猪场采用水冲粪的清粪模式,污水处理站紧邻饲养区,各猪舍的粪污废水通过管道集中排放到集粪池,以待后续处理。因污水处理站靠近水库,对排水水质要求高,故采用常规生化与芬顿高级氧化和化学混凝等物化组合工艺,设计规模为500  $\text{m}^3/\text{d}$ 左右,已运行10年以上。

### 1.2 工艺流程及主要构筑物

该猪场废水处理工艺主要分为生化处理和物化处理两个部分,具体流程见图1,各处理单元构筑物尺寸及水力停留时间如下:沉砂池,1个,尺寸为9.6 m×35.6 m×1.6 m,有效容积为546  $\text{m}^3$ ,HRT为26 h;沼气罐,3个,尺寸为 $\varnothing 10 \text{ m} \times 8.54 \text{ m}$ ,有效容积为670  $\text{m}^3$ ,HRT为95.7 h;沉淀池,5个,尺寸为4.7 m×4.9 m×5.1 m,有效容积为112  $\text{m}^3$ ,HRT为23.8 h;尺寸为4.7 m×4.9 m×5.1 m的曝气池4个,有效容积为112  $\text{m}^3$ ,HRT为21.3 h;尺寸为5.1 m×1.8 m×5.1 m的曝气池3个,有效容积为45  $\text{m}^3$ ,

HRT 为 6.4 h; 简易沉淀池, 3 个, 尺寸为  $5.1 \text{ m} \times 1.8 \text{ m} \times 5.1 \text{ m}$ , 有效容积为  $45 \text{ m}^3$ , HRT 为 6.4 h; 芬顿池, 2 个, 尺寸为  $3.3 \text{ m} \times 2.2 \text{ m} \times 4.6 \text{ m}$ , 有效容积为  $33 \text{ m}^3$ , HRT 为 3.1 h; 斜管沉淀池, 1 个, 尺寸为  $7.8 \text{ m} \times 3.6 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ , 有效容积为  $112 \text{ m}^3$ , HRT 为 5.3 h。

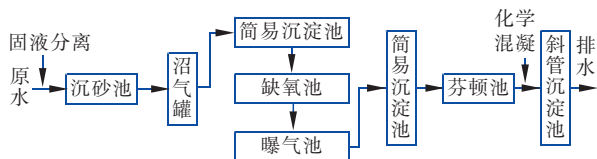


图1 猪场废水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of swine wastewater treatment process

集粪池中的废水经格栅去除树枝、塑料制品等较大悬浮物后, 抽入筛网联合螺旋挤压式固液分离机进行固液分离; 产生的粪渣外运, 分离后的废水进入沉砂池(沉砂池分隔成 8 个相同容积的小池串联); 经沉砂池处理后的废水泵入 3 个沼气罐, 进行厌氧消化产沼, 沼气未利用, 沼气罐总体积为  $2\,010 \text{ m}^3$ , 水力停留时间约为 4 d; 沼液随后进入沼液简易沉淀池进行沉淀, 但因沼液中富含气体, 沉淀效果不

佳; 沼液简易沉淀池实际兼作缺氧池, 经缺氧池后的废水进入曝气池, 曝气池的水力停留时间仅 1 d 多; 废水随后流入简易沉淀池进行泥水分离, 沉淀时间约为 6 h。至此, 猪场废水完成二级生化处理过程。

随后, 二级生化处理出水进入物化处理单元, 进一步通过芬顿高级氧化和化学混凝工艺进行深度处理。生化处理出水进入芬顿反应池, 同时投加稀硫酸、七水硫酸亚铁溶液和 30% 双氧水, 机械搅拌混合均匀, 在 pH 值为 3~4 的酸性条件下氧化 3 h, 废水中的 COD 和磷进一步大量削减; 随后废水流入化学混凝池, 先通过石灰乳液中和至中性, 然后投加 PAM, 均采用机械搅拌和水力搅拌, 使废水中小颗粒混凝, 混凝沉淀后的废水经斜管沉淀池后排出。

处理过程中产生的生化污泥和化学污泥经干化场干化后外运, 在原工艺中没有建设机械脱水单元。

### 1.3 各单元水样采集及测定

2017 年 6 月 10 日—9 月 20 日共 3 个多月现场采集该猪场排出的原始粪污废水以及各处理单元进、出水。采样后迅速完成检测, 测定的基本水质指标包括 pH 值、COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP、SS、色度等。该猪场废水经固液分离后的水质见表 1。

表1 猪场废水经固液分离后的水质

Tab. 1 Quality of swine wastewater after solid-liquid separation

项 目	pH 值	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	$\text{NH}_3 - \text{N}$ / ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TN/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	TP/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	SS/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
浓度范围	7.38 ~ 7.86	5 800 ~ 15 875	614.6 ~ 1 680	890.8 ~ 1 838	224.5 ~ 1 022	3 140 ~ 10 300
均值 ± 标准差	7.66 ± 0.18	11 541 ± 3 324	1 040 ± 330	1 385 ± 255	610 ± 255	7 189 ± 2 153
GB 18596—2001	6 ~ 9	400	80	—	8	200

### 1.4 测定方法

pH 值采用 pH 计测定; COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN、TP、SS 和色度分别采用重铬酸钾法、纳氏试剂分光光度法、碱性过硫酸钾氧化—紫外分光光度法、钼酸铵分光光度法、重量法和稀释倍数法等标准方法测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 猪场粪污水总体处理效果

#### 2.1.1 出水水质变化

猪场废水作为一种高浓度、难处理的有机废水, 通常需要多级处理, 如李海华等人<sup>[13]</sup>曾报道利用厌氧 +  $\text{A}^2/\text{O}$  + UF + 光催化多级组合工艺处理猪场废水, 最终出水水质可达到《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB 18596—2001)。本研究所调研的污水处理站则采用厌氧产沼 +  $\text{A}/\text{O}$  + Fenton 高级氧化 + 化

学混凝处理工艺, 其中“厌氧产沼 +  $\text{A}/\text{O}$ ”为生化单元, “Fenton 高级氧化 + 化学混凝”为物化处理单元。试验结果表明, 生化段进水 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 和 TP 的含量分别为 1 293 ~ 3 953、488.6 ~ 896.7、720.3 ~ 1 209 和 105.2 ~ 214.2 mg/L, 出水 COD、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TN 和 TP 的含量分别为  $(947.1 \pm 187.9)$ 、 $(237.5 \pm 94.9)$ 、 $(758.4 \pm 71.6)$  和  $(76.1 \pm 17.7)$  mg/L, 平均去除率分别为  $(60.76 \pm 15.02)\%$ 、 $(65.47 \pm 13.49)\%$ 、 $(23.14 \pm 11.92)\%$  和  $(53.69 \pm 17.95)\%$ , TN 去除率较低, 主要是因为该生化段缺少反硝化工艺, 氮无法转化为  $\text{N}_2$  而去除, COD、TP 和  $\text{NH}_3 - \text{N}$  去除率均超过 50%, 但出水水质仍不能满足《畜禽养殖业污染物排放标准》(GB 18596—2001)。为使出水能够达标排放, 后续增加了物化

处理工艺,去除效果如图2所示。

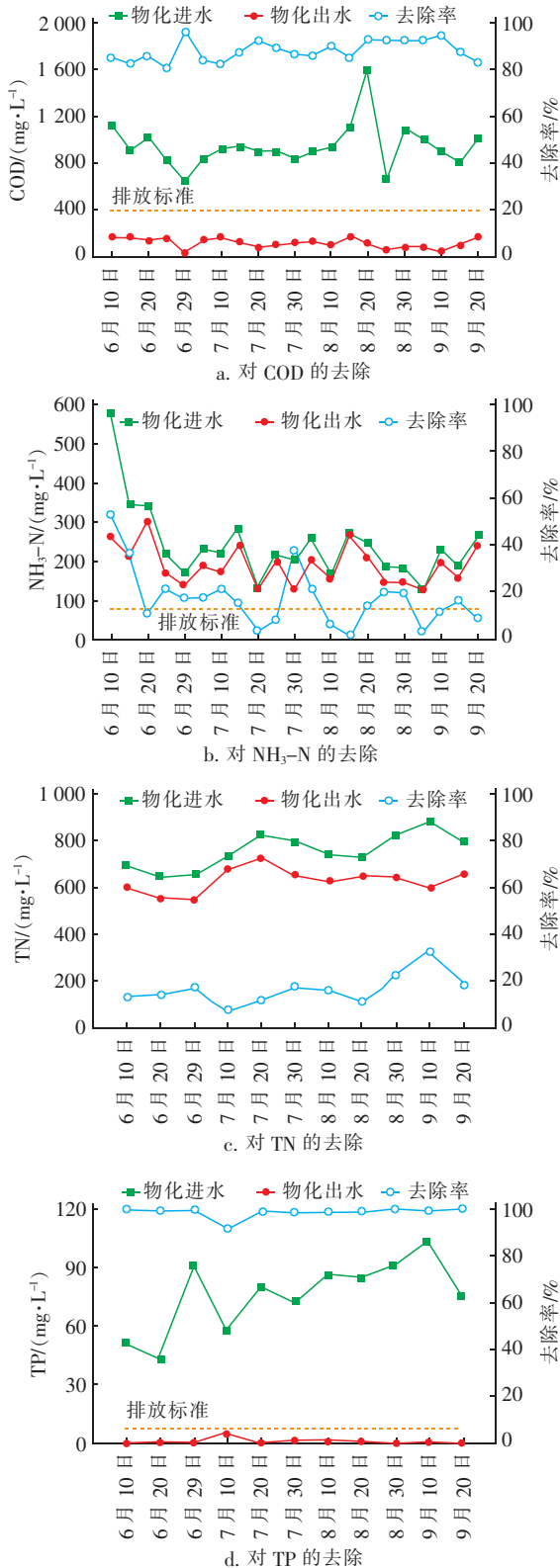


图2 污水处理站物化单元的处理效果

Fig. 2 Treatment effect of physicochemical unit in swine wastewater treatment station

生化出水经过芬顿高级氧化/化学混凝工艺处理后,其 COD 和 TP 含量降至 124.3 ~ 169 和 0.1 ~ 4.98 mg/L,远低于国家标准限值(COD 为 400 mg/L、TP 为 8 mg/L),对 COD 和 TP 的去除率可高达  $(88.11 \pm 4.39)\%$  和  $(98.44 \pm 2.28)\%$ ;然而出水氨氮浓度仍高达 130 ~ 304.8 mg/L[平均为  $(237.5 \pm 94.89)$  mg/L]、TN 为 545.8 ~ 727.8 mg/L[平均为  $(630.7 \pm 51.22)$  mg/L],对氨氮和 TN 的去除率仅为  $(12.33 \pm 20.59)\%$  和  $(16.48 \pm 6.38)\%$ ,出水氨氮超过国标限值(80 mg/L)约 2.97 倍,无法正常达标排放,最终出水常需要添加约 3 倍的自来水稀释后才能排放。

从总体运行效果来看,该生化/物化组合工艺对 COD、NH<sub>3</sub>-N、TN 和 TP 的总平均去除率分别为  $(95 \pm 2.04)\%$ 、 $(71 \pm 8.50)\%$ 、 $(36.10 \pm 9.49)\%$  和  $(99.42 \pm 0.61)\%$ 。显然,该工艺对 COD 和 TP 的去除效果较好,对氮的去除效果相对较差。在对 COD 总去除率的贡献中,生化段约占 66.33%,物化段约占 33.67%;对 TP,生化段的贡献率约占 56.59%,物化段的贡献率约占 43.41%;对氨氮和总氮的去除,主要是生化段起作用(约占 78.83%),物化段的贡献较小(21.17%)。生化处理对 C、P 和 N 均有一定的去除作用,Fenton 高级氧化对 C 和 P 有较大去除作用,但对氮的削减作用较低,主要是因为 Fenton 产生的  $\cdot\text{OH}$  大部分用于降解 COD,无法为氮的氧化作用提供过多的  $\cdot\text{OH}$ 。

### 2.1.2 直接运行成本分析

该污水处理站的成本构成主要为运行设备的电费和投加药剂的费用。电耗主要包括固液分离机、搅拌机、各类提升泵、罗茨鼓风机的电耗,其中鼓风机的电耗最多。经查阅电表数据,电耗约为 2 200 kW·h/d,按工业用电电价为 0.6 元/(kW·h) 计算,折合成电费为 2.64 元/m<sup>3</sup>。表 2 为物化处理的药剂投加量以及单价。可以看出,硫酸亚铁、双氧水和石灰的投加量大,处理费用高,仅物化处理成本就达到了 15.16 元/m<sup>3</sup>。综上,该污水处理站直接运行成本达到了 17.8 元/m<sup>3</sup>。

由 2.1 节可知,如果按现行常规生化/物化组合处理模式,虽然出水 COD、P、SS 等指标稳定达到国家标准,但运行成本高昂,一般养殖企业难以承受;而且出水氨氮浓度虽然有所降低,但仍不能达到排放标准。

表 2 污水处理站物化单元加药量及成本

Tab. 2 Reagent dosage and cost of physicochemical unit in wastewater treatment station

项 目	用量/ ( $t \cdot d^{-1}$ )	药品单价/ (元 $\cdot t^{-1}$ )	处理成本/ (元 $\cdot m^{-3}$ )
硫酸亚铁	1.94	680	2.64
双氧水	1.87	1 800	6.73
石灰	1.50	800	2.40
PAM	0.037	35 000	2.59
硫酸	0.50	800	0.80
小计	—	—	15.16

## 2.2 各单元处理效果

该污水处理站从预处理到最终出水可以细分为 5 个处理单元,分别为固液分离单元、沉砂池、沼气罐 + 沼液简易沉淀池(厌氧段)、缺氧/好氧段(A/O 生化段)和 Fenton + 化学混凝(物化段)。污水处理站各单元的运行效果如图 3 和表 3 所示。可知,猪场废水经固液分离和沉砂池处理后,COD、TP 和 SS 含量均大幅降低,平均累计去除率分别为 76.71%、71.50% 和 84.89%, $NH_3-N$  和 TN 的去除效果不明显,平均累计去除率均低于 30%。预处理的目的是去除废水中较大的物质,以免堵塞水泵机组,保证污

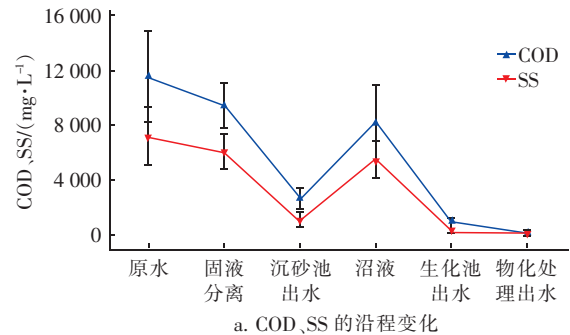
表 3 猪场污水处理站各处理单元的平均去除率和平均累计去除率

Tab. 3 Average and accumulative removal rate of COD,  $NH_3-N$ , TP, TN and SS in different treatment units in swine wastewater treatment station

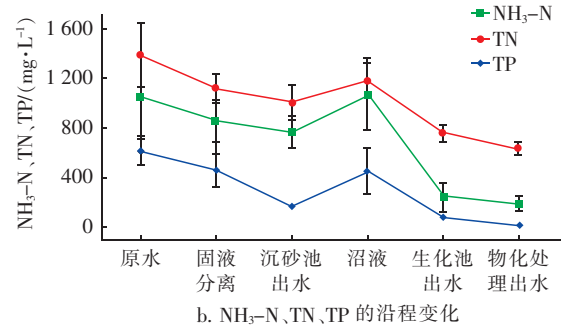
项 目	平均去除率					平均累计去除率				
	COD	氨氮	TP	TN	SS	COD	氨氮	TP	TN	SS
固液分离	17.97	17.89	25.47	19.21	15.86	17.97	17.89	25.47	19.21	15.86
沉砂段	71.60	10.40	61.75	10.28	80.86	76.71	26.41	71.50	27.51	84.89
沼气发酵段	-120	1.42	-116	6.50	-118	73.90	27.46	38.55	32.22	64.93
A/O 段	66.26	68.01	79.43	19.21	86.72	91.20	76.80	87.36	45.24	95.34
物化段	89.16	23.50	98.43	16.85	57.45	99.05	82.25	99.80	54.46	98.02

废水随后泵入沼气罐进行产沼发酵。但因该沼气罐运行时间长、淤塞严重,导致水力停留时间缩短,出水沼液呈黑色浓稠状。沼液进入简易沉淀池进行沉淀,效果极差,COD、TP 和 SS 反而较进入沼气池之前的浓度高,平均去除率分别为 -120%、-116% 和 -118%,厌氧段无法实现厌氧消解有机物的作用甚至有相反作用,这也是大多数建有沼气罐的畜禽养殖场所面临的共同问题<sup>[14-15]</sup>。废水随后进入 A/O 生化阶段,在活性污泥的作用下,废水中的部分有机物得到分解转化,经简易沉淀池沉淀后,出水 COD、 $NH_3-N$ 、TP、TN 和 SS 浓度均有所降低,对 TP 和 SS 的平均去除率超过 75%,而 TN 去除

水处理设施的正常运行。



a. COD、SS 的沿程变化

b.  $NH_3-N$ 、TN、TP 的沿程变化图 3 猪场污水处理站各单元出水 COD、 $NH_3-N$ 、TP 和 TN 的变化情况Fig. 3 Variation of COD,  $NH_3-N$ , TP and TN of different treatment units effluent in swine wastewater treatment station

率仅为 19.21%,这主要是因为该单元反硝化系统不完善,硝态氮无法通过反硝化转化为  $N_2$ ,导致硝态氮大量积累,最终出水 TN 浓度高达 648.1 ~ 828.2 mg/L,与刘颂东等<sup>[16]</sup>调查结果相符。从整个处理单元来看,曝气池对氨氮的去除率最高(68.01%),氨氮主要在该段被去除,但因为反硝化段,曝气池中硝化反应消耗的碱度无法得到回补,经检测曝气池 pH 值为  $6.29 \pm 0.29$ ,低于硝化反应所需 pH 值<sup>[17-18]</sup>,碱度不足使硝化反应受到抑制,氨氮无法大量转化为硝态氮,从而导致出水氨氮浓度过高。

废水经芬顿氧化/化学混凝(物化段)处理后,

COD 和 TP 浓度大幅降低,平均去除率分别为 89.16% 和 98.43%。 $\text{H}_2\text{O}_2$  在  $\text{Fe}^{2+}$  作用下产生大量  $\cdot\text{OH}$ ,使得有机物得以被大量氧化消解。添加的铁盐和钙盐可以与水中的磷形成难溶性磷酸盐,在混凝阶段随污泥一同沉淀而被去除。另外观察到物化出水清澈透明,外观无色无味,色度仅为 3 倍。但该过程添加了大量化学药剂,不仅产生了大量化学污泥而且增加了处理成本、延长了工艺路线。

### 2.3 现行处理效果分析及建议

将表 3 各处理单元中 COD、 $\text{NH}_3-\text{N}$ 、TP、TN 的平均去除率与 SS 去除率进行线性拟合,发现 COD 和磷的去除率与 SS 去除率呈极显著正相关,相关系数  $r$  分别达到 0.948 1 和 0.930 6,而氨氮和总氮的去除率与 SS 去除率则没有显著相关性(相关系数  $r$  分别为 0.358 8 和 0.404 3)。然而发现在 8 格小沉砂池串联的系列沉砂池中,出水 SS 与相应的 COD、 $\text{NH}_3-\text{N}$ 、TP、TN 都呈显著正相关,其中与 TP( $r = 0.994 1$ )和 COD( $r = 0.988 4$ )的相关性最高,与  $\text{NH}_3-\text{N}$  和 TN 的相关性略差。这说明,SS 浓度在很大程度上决定了其他指标的浓度,特别是 COD 和 TP。只要设法去除 SS,则整个系统可有效去除 COD 和 TP,对氨氮和总氮的去除也有一定的帮助。这是因为猪场废水中的 COD 和磷主要以颗粒态或“惰

性”的形态存在,而氨氮却主要以水溶性为主,总氮中又主要以氨氮为主,依附于 SS 上的较少。因此,在预处理阶段若能大量去除 SS,可明显减少废水中颗粒态或“惰性”的污染物,进而降低猪场废水的处理难度,因为这些形态的污染物是相对难于被微生物所降解的。去除 SS 后,进入生化处理单元的污染物主要以溶解性形态存在,利于生物降解或转化。现行处理效果不佳的主要原因,正是在于大量颗粒态或“惰性”的污染物进入了生化处理系统。

表 4 为整个生化处理单元对总污染物(COD、 $\text{NH}_3-\text{N}$ 、TN 和 TP)和溶解性污染物的去除率情况。生化单元对 COD、 $\text{NH}_3-\text{N}$ 、TN 和 TP 的平均去除率分别为 51.20%、74.84%、25.50% 和 47.18%,其中对溶解性 COD、 $\text{NH}_3-\text{N}$ 、TN 和 TP 的平均去除率分别为 47.73%、70.69%、-9.43% 和 41.63%。因 O 池缺少反硝化过程,造成溶解性 TN 积累(主要为硝态氮),但除 TN 外,其余各溶解性污染物在生化处理单元中的去除率占总去除率的 85% 以上。进一步证明,溶解性有机物或污染物更易于被生化处理单元中微生物降解或转化。因此,设法预先去除 SS,使进入生化单元的有机物或养分以溶解性形态为主,有望解决猪场废水常规生化处理效果不佳的问题。

表 4 溶解性污染物与总污染物在生化处理单元的削减效果

Tab.4 Removal efficiencies of soluble and total COD,  $\text{NH}_3-\text{N}$ , TN, and TP in biochemical treatment unit

项 目	溶解性污染物			总污染物		
	处理前/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	处理后/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	去除率/ %	处理前/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	处理后/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	去除率/ %
COD	811.7 ± 162	424.2 ± 184	47.73	2 389 ± 676.8	1 147 ± 234	51.20
$\text{NH}_3-\text{N}$	580 ± 74	170 ± 41	70.69	858.2 ± 92	215.9 ± 32	74.84
TN	657.2 ± 245	719 ± 77	-9.43	1 004 ± 136	758.4 ± 71	24.50
TP	35.6 ± 15.8	20.78 ± 4.88	41.63	173.2 ± 26	91.47 ± 7.1	47.18

此外还发现,该污水处理站 A/O 池容过小也是导致出水水质难于达标的重要原因。经测算,生化池进水  $\text{BOD}_5$  约为 1 626  $\text{mg/L}$ ,根据 2016 版《室外排水设计规范》公式 6.8.2,若出水  $\text{BOD}_5$  浓度降低到 150  $\text{mg/L}$ ,池容约需 1 925  $\text{m}^3$ ,HRT 至少为 3.85 d,而现 HRT 仅为 1.2 d,远低于理论值,需进一步扩大生化池池容。韩伟铨等<sup>[10]</sup>研究也表明,延长 HRT 更利于有机物的去除,特别是氨氮的去除。

针对上述存在的问题,建议设法在废水进入生化池前尽可能去除 SS,使溶解性组分占主要比重的废水进入生化池,降低进水负荷;对于沼气罐需定期

维护,必要时对沼气罐进行改进,加强池内搅拌,防止淤塞,以免沼气池出水水质更差;按照进水水质扩大生化池的池容。上述措施有望彻底解决现行猪场废水处理工艺路线长、运行成本高和出水水质不达标的问题<sup>[19]</sup>。

### 3 结论

① 猪场废水污染物浓度高,COD、 $\text{NH}_3-\text{N}$ 、TP 浓度最高达到 15 875、1 680、1 022  $\text{mg/L}$ 。常规生化处理出水水质难以达标,COD、 $\text{NH}_3-\text{N}$ 、TP 浓度仍有 646.9 ~ 1 593、130 ~ 573、43.5 ~ 103.2  $\text{mg/L}$ ,需进一步物化处理;通过芬顿氧化/化学混凝处理后,

出水 COD 和 TP 浓度可稳定达标但氨氮浓度仍较高,且运行成本较高,直接运行成本达 17.8 元/m<sup>3</sup>。

② 猪场废水中 COD 和磷相当部分以颗粒态形式存在,而氨氮和总氮则更多地以溶解性形态存在。去除 SS 可大幅度降低 TP 和 COD,但对氨氮的影响相对较小。

③ 氨氮和总氮主要靠生化单元去除,物化单元(Fenton 和化学混凝)的去除率较低。但物化处理可以有效削减 COD 和 TP,去除率高达 90% ~ 100%。

④ 含大量 SS 的猪场废水进入生化池是导致处理效果差的重要原因。建议设法在废水进入生化池前尽可能去除 SS,使溶解性组分占主要比重的废水进入生化池,降低进水负荷;对于沼气罐需定期维护,必要时对沼气罐进行改进,加强池内搅拌,防止淤塞,以免沼气池出水水质更差;按照进水水质扩大生化池的池容,有望解决现行工艺出水水质不达标的问题。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家统计局. 中国畜牧业年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2006.  
National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Animal Husbandry Yearbook [M]. Beijing:China Agriculture Press,2006(in Chinese).
- [2] 中华人民共和国农业部. 中国畜牧兽医年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2016.  
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. China Animal Husbandry and Veterinary Medicine Yearbook [M]. Beijing: China Agriculture Press,2016(in Chinese).
- [3] 中华人民共和国农业部. 中国畜牧业年鉴[M]. 北京:中国农业出版社,2010.  
Ministry of Agriculture of the People's Republic of China. China Animal Husbandry Yearbook [M]. Beijing:China Agriculture Press,2010(in Chinese).
- [4] 仇焕广,廖绍攀,井月,等. 我国畜禽粪便污染的区域差异与发展趋势分析[J]. 环境科学,2013,34(7): 2766-2774.  
Qiu Huangang, Liao Shaopan, Jing Yue, et al. Regional differences and development tendency of livestock manure pollution in China[J]. Environmental Science, 2013,34(7):2766-2774(in Chinese).
- [5] Fu C, Yue X D, Shi X Q, et al. Membrane fouling between a membrane bioreactor and a moving bed membrane bioreactor: Effects of solids retention time [J]. Chem Eng J,2017,309:397-408.
- [6] Zhu L, Zhou J H, Lü M L, et al. Specific component comparison of extracellular polymeric substances (EPS) in flocs and granular sludge using EEM and SDS-PAGE [J]. Chemosphere,2015,121:26-32.
- [7] Tijting L D, Woo Y C, Choi J S, et al. Fouling and its control in membrane distillation—A review[J]. Journal of Membrane Science,2015,475:215-244.
- [8] 远德龙,高明鑫. 畜禽污染现状与综合利用方式探究[J]. 猪业科学,2017,34(1):100-102.  
Yuan Delong, Gao Mingxin. Current situation of livestock and poultry pollution and exploration of comprehensive utilization[J]. Swine Industry Science, 2017,34(1):100-102(in Chinese).
- [9] 夏宏生,陈师楚. UASB—O/A/O 组合工艺对规模化养猪场废水的生物脱氮除磷研究[J]. 环境工程, 2018,36(1):11-14,36.  
Xia Hongsheng, Chen Shichu. Biological nitrogen and phosphorus removal from large scale piggery wastewater by UASB - O/A/O combined process [J]. Environmental Engineering,2018,36(1):11-14,36(in Chinese).
- [10] 韩伟铖,颜成,周立祥. 规模化猪场废水常规生化处理的效果及原因剖析[J]. 农业环境科学学报,2017, 36(5):989-995.  
Han Weicheng, Yan Cheng, Zhou Lixiang. Investigation on water quality of the effluent of large-scale swine wastewater treatment plant [J]. Journal of Agro - Environment Science, 2017, 36 (5): 989 - 995 (in Chinese).
- [11] 冯素敏,王浩,宋振扬,等. 芬顿氧化—混凝深度处理二级出水试验研究[J]. 河北科技大学学报,2017,38(1):94-100.  
Feng Sumin, Wang Hao, Song Zhenyang, et al. Experimental study on advanced treatment of secondary effluent by Fenton oxidation - coagulation [J]. Journal of Hebei University of Science and Technology,2017,38(1):94-100(in Chinese).
- [12] 陶冶,邢静,孟瑞静,等. 水解酸化 + A<sup>2</sup>/O + 超滤 + 光催化组合工艺处理猪场废水[J]. 水处理技术, 2014,40(8):121-124.  
Tao Ye, Xing Jing, Meng Ruijing, et al. Hydrolytic acidification + A<sup>2</sup>/O + UF + photocatalysis technology in piggery wastewater treatment [J]. Technology of Water

- Treatment, 2014, 40(8):121-124 (in Chinese).
- [13] 李海华,邢静,孟瑞静,等. 规模化猪场粪污处理及资源化利用工程应用[J]. 环境工程, 2013, 31(6): 49-52.
- Li Haihua, Xing Jing, Meng Ruijing, *et al.* The application of wastewater treatment and resource utilization in large-scale piggery [J]. Environmental Engineering, 2013, 31(6): 49-52 (in Chinese).
- [14] 赵恒斗. 规模化养猪的污水产生、治理与综合利用[J]. 中国沼气, 1996, 14(3): 30-32.
- Zhao Hengdou. Sewage generation, treatment and comprehensive utilization of large-scale pig raising [J]. China Biogas, 1996, 14(3): 30-32 (in Chinese).
- [15] 徐应明. 畜禽养殖行业废水排放标准的研究[J]. 上海环境科学, 1995, 14(2): 27-29, 46.
- Xu Yingming. Study of discharge standards on excrement of livestock and poultry farms [J]. Shanghai Environmental Science, 1995, 14(2): 27-29, 46 (in Chinese).
- [16] 刘颂东,潘木水,高云超,等. 猪场污水  $A^2/O$  - 深度处理法及其效果[J]. 广东农业科学, 2003(5): 54-56.
- Liu Songdong, Pan Mushui, Gao Yunchao, *et al.* Treatment of piggery wastewater using  $A^2/O$ -biological contact oxidation processes coagulating precipitation technology [J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2003(5): 54-56 (in Chinese).
- [17] 郝玉芳. 废水生化处理工艺 pH 控制脱氮的应用研究[J]. 环境工程, 2009, 27(s1): 222-225.
- Hao Yufang. Control denitrification by pH in treatment of wastewater [J]. Environmental Engineering, 2009, 27(s1): 222-225 (in Chinese).
- [18] 王淑莹,李论,李凌云,等. 快速启动短程硝化过程起始 pH 值对亚硝酸盐积累的影响[J]. 北京工业大学学报, 2011, 37(7): 1067-1072.
- Wang Shuying, Li Lun, Li Lingyun, *et al.* Effect of initiative pH value on accumulation of nitrite during the process of rapid start-up of partial nitrification [J]. Journal of Beijing University of Technology, 2011, 37(7): 1067-1072 (in Chinese).
- [19] 叶韬,颜成,王电站,等. 规模化猪场粪污废水生物聚沉氧化新工艺及其生产性实验效果研究[J]. 环境工程学报, 2018, 12(9): 2521-2529.
- Ye Tao, Yan Cheng, Wang Dianzhan, *et al.* A case study on effectiveness of a novel treatment process for purifying swine wastewater from large-scale piggery by using bio-coagulation dewatering followed by bio-oxidation [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2018, 12(9): 2521-2529 (in Chinese).



作者简介:汪文强(1992-),男,安徽安庆人,硕士研究生,主要研究方向为水污染控制。

E-mail: 2016803162@njau.edu.cn

收稿日期:2019-04-12

科学调水,依法管水,安全供水