

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.08.025

# 高氨氮规模化养猪废水处理工程改造案例

吴俊雄, 朱乐辉, 章鹏宇, 马晓伟, 黄冬根

(南昌大学资源环境与化工学院 鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室,  
江西 南昌 330031)

**摘 要:** 江西某规模化养猪场废水含有高浓度的氨氮和 TP 以及木质素等难生化降解有机物,经原废水处理系统处理后,出水水质无法达到排放要求。在水质分析的基础上,采用气浮+厌氧池+两级 A/O+曝气生物滤池+芬顿氧化+化学除磷组合工艺进行改造。改造后的实际运行结果表明,COD、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 的总去除率分别达到 99.4%、96.7%、97.8%,最终出水水质满足江西省《鄱阳湖生态经济区水污染物排放标准》(DB 36/852—2015)。

**关键词:** 规模化养猪废水; 两级 A/O; 曝气生物滤池; Fenton; 化学除磷

**中图分类号:** TU992.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)08-0139-05

## Case of a Reconstructed Treatment Project for Large-scale Piggery Wastewater with High Ammonia Nitrogen

WU Jun-xiong, ZHU Le-hui, ZHANG Peng-yu, MA Xiao-wei, HUANG Dong-gen  
(Key Laboratory of Poyang Lake Environment and Resource Utilization < Ministry of Education > ,  
School of Resources Environmental & Chemical Engineering, Nanchang University, Nanchang  
330031, China)

**Abstract:** The wastewater from a large-scale piggery in Jiangxi Province contains high concentration of  $\text{NH}_3\text{-N}$ , TP and refractory organic matters, such as lignin. The effluent quality could not reach the discharge requirements after the treatment by the original sewage treatment system. On the basis of wastewater quality analysis, the original process was transformed into a combined process of air flotation, anaerobic tank, two-stage A/O, aerated biological filter, Fenton oxidation, and chemical phosphorus removal. The practical running results after reconstruction showed that the total removal rate of COD,  $\text{NH}_3\text{-N}$  and TP reached 99.4%, 96.7% and 97.8%, respectively. The final effluent water quality could meet Wastewater Discharge Standard of Poyang Lake Eco-economic District in Jiangxi Province (DB 36/852-2015).

**Key words:** large-scale piggery wastewater; two-stage A/O; BAF; Fenton; chemical phosphorus removal

### 1 工程概况

随着政府支持力度的不断加强,国内规模化养

猪场的规模与比重日益增大,由此带来的环境问题不容忽视<sup>[1]</sup>。江西某规模化养猪场采用水泡粪方

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41363005)  
通信作者:吴俊雄 E-mail:1603986629@qq.com

式清粪,肉猪平均存栏量为 26 000 头,产生的废水主要为尿液、猪饲料和粪便组成的混合液<sup>[2]</sup>。废水 COD、氨氮与 TP 含量很高,可生化性较好,但同时含有抗生素及少量粗纤维大分子等难生化降解类物质,水质波动大。如今环保要求不断提高,原养猪场处理后出水已经无法满足当地废水排放标准,针对现有废水处理系统的扩建改造势在必行。

该养猪场废水排放量为 500 m<sup>3</sup>/d,出水排放执行江西省《鄱阳湖生态经济区水污染物排放标准》(DB 36/852—2015)表 1 中标准。进、出水水质和排放标准见表 1。

表 1 进、出水水质和排放标准

Tab. 1 Influent and effluent quality and discharge standard

项目	pH 值	COD/ (mg · L <sup>-1</sup> )	氨氮/ (mg · L <sup>-1</sup> )	TP/ (mg · L <sup>-1</sup> )
进水水质	6.3 ~ 7.5	16 000 ~ 19 000	600 ~ 900	150 ~ 210
好氧池出水水质	7 ~ 9	477	359	31
排放标准	6 ~ 9	150	40	5.0

## 2 工程设计

### 2.1 原工艺分析

养猪场原有废水处理工艺为筛网 + 气浮 + 厌氧池 + 好氧池 + NaClO 消毒,工艺流程见图 1。

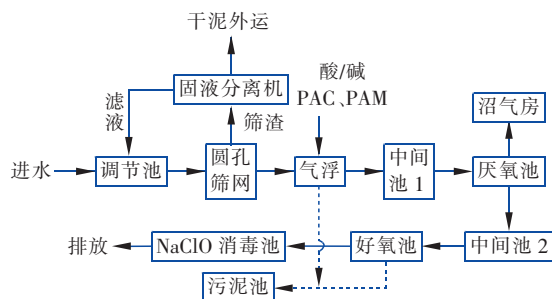


图 1 原有废水处理工艺流程

Fig. 1 Original wastewater treatment process

废水中 COD、氨氮、总磷等污染物指标超标严重,任其排放将给周围的环境造成严重影响。该养猪场原有废水处理系统存在的主要问题:①废水中氨氮和磷含量很高且碳氮比低,简单地依靠厌氧池 + 好氧池处理,对氨氮和总磷去除率很低,应考虑增加高效脱氮工艺和化学除磷<sup>[3]</sup>。②好氧池对难降解污染物(如粗纤维物质、抗生素和木质素等)处理效率较低,COD 去除效果不显著,缺少深度处理工艺。③未对污泥进行脱水处理,环境卫生较差。

### 2.2 改造工艺的确定

根据原有工艺分析,可知:①脱氮除磷工艺是改造重点,化学法效果佳但药剂费用高、产泥量大,A/O 工艺成熟、效果稳定、应用普遍,因此将好氧池改造扩建成两级 A/O 池,非常适合高氨氮废水的脱氮处理且兼具较好的总磷和 COD 去除效果,是首选改造工艺。②废水水质复杂,为严格保证出水 COD 达标,宜采用生化 + 物化组合工艺深度处理,曝气生物滤池(BAF)工艺具有出水水质好(尤其对氨氮去除效率高)、耐冲击负荷、季节适应性强、无二次污染、可进行模块化设计(有利于以后改造扩建)等特点,芬顿法氧化效果好、反应时间短、土地需求低,两者结合更有利于难降解废水处理,节省了药剂成本。③芬顿处理后总磷达标仍有难度,此时采用化学除磷法简单高效、稳定可靠。

因此,在比选方案和考虑同类工程成功案例后,最终确定在原厌氧池后新增两级 A/O + BAF + Fenton + 化学除磷池组合工艺进行提标改造。废水处理工艺流程见图 2。

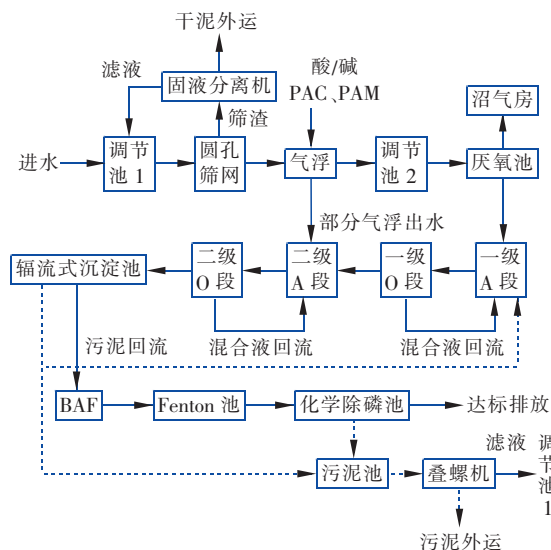


图 2 改造后废水处理工艺流程

Fig. 2 Flow chart of wastewater treatment process after transformation

废水进入调节池 1 调节水量和 pH 值后,经泵提升到圆孔筛网分离出大部分粪渣,然后通过固液分离机脱水,处理后的污泥外运处理,滤液则回到调节池 1。废水经圆孔筛网处理后再通过气浮机进一步去除水中悬浮物。

气浮出水进入调节池 2 进行均质均量,再经提

升泵输送到厌氧池,在厌氧菌的作用下,降解大部分有机物,同时提高了废水可生化性。接着出水流至改造后的二级A/O系统,其中30%的气浮出水经潜污泵配送到二级缺氧池内,补充二级缺氧池碳源,提高废水碳氮比,强化了脱氮效果。经过两级A/O系统硝化反硝化作用,废水中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 含量大大降低,总磷也通过好氧段聚磷菌超量吸磷并排放到剩余污泥中而得以去除。

二级A/O出水自流进入辐流式沉淀池,利用其沉淀作用分离废水中的污泥,并借助污泥泵(污泥池)实现两级A/O系统污泥回流,辐流式沉淀池出水进入BAF进行深度处理,对污染物进一步生化降解。BAF池出水经过Fenton池处理,氧化废水中难生化降解有机物并去除少量 $\text{TP}^{[4]}$ ,然后废水自流至化学除磷池,在混凝区通过碱液调节pH值后,投加 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 形成磷酸盐沉淀并在沉淀区进行分离,从而达到强化除磷目的<sup>[5]</sup>,最后出水达标排放。

### 3 改造后的主要构筑物及设备参数

#### ① 调节池

调节池1。利用原有的1座调节池,调节水质水量并收集固液分离机和叠螺机脱水产生的滤液。有效容积为 $168\text{ m}^3$ ,水力停留时间为8.1 h。配套提升泵2台(1用1备), $P=3.0\text{ kW}$ ;圆孔网筛3个(2用1备), $P=0.55\text{ kW}$ ;固液分离机2台,1用1备, $P=4.5\text{ kW}$ 。

调节池2。1座,利旧,钢混结构,起到均衡水质水量的作用,保障后续设施稳定运行。有效容积为 $264\text{ m}^3$ ,水力停留时间为12.7 h。配套提升泵2台(1用1备)。

#### ② 气浮池

利用原有气浮机,1台,碳钢材质,进一步去除悬浮物,处理能力为 $60\text{ m}^3/\text{h}$ , $P=7.5\text{ kW}$ 。主要设备:溶气系统1套,气浮加药装置3套,流量计1套。

#### ③ 厌氧池

厌氧池(利旧)1座,有效容积为 $11\ 000\text{ m}^3$ ,水力停留时间为176 h。

#### ④ 两级A/O

一级A段:1座,利用原中间池2改造,钢混结构,有效容积为 $672\text{ m}^3$ ,水力停留时间为8.0 h。配套潜水搅拌机2台,功率 $2.2\text{ kW}$ ;提升泵,原有2台,增加1台(2用1备), $Q=30\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=130\text{ kPa}$ , $P=3.0\text{ kW}$ ;液位开关2套。

一级O段:利用原好氧池改造,共2格,总有效容积 $1\ 344\text{ m}^3$ ,水力停留时间为16 h,可变微孔曝气器及填料均依托原有。新增工艺风机2台(1用1备),功率 $25\text{ kW}$ ;新增内循环泵2台(1用1备),用于将O池混合液回流到A池进行反硝化脱氮, $Q=30\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=130\text{ kPa}$ , $P=3.0\text{ kW}$ 。

二级A/O:A池和O池合建,钢混结构,有效容积 $1\ 744\text{ m}^3$ ,总水力停留时间为42 h,其中缺氧池10.5 h、好氧池31.5 h。 $\text{DO}$ :缺氧池 $0\sim0.5\text{ mg/L}$ ,好氧池 $3\sim5\text{ mg/L}$ 。气水比为 $39:1$ , $\text{MLSS}$ 为 $3\ 500\text{ mg/L}$ ,污泥龄为 $20\sim30\text{ d}$ ,污泥回流比为 $50\%\sim100\%$ 。好氧池硝化液通过内回流泵返回缺氧池,回流比为 $100\%\sim300\%$ 。主要配套设备:A池潜水搅拌机2台, $P=2.2\text{ kW}$ ;O池工艺风机3台(2用1备), $P=18.5\text{ kW}$ ;内循环泵3台(2用1备),用于将O池混合液回流到A池进行反硝化脱氮, $Q=35\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=80\text{ kPa}$ , $P=2.2\text{ kW}$ ;O池微孔曝气器880个, $\varnothing 214\text{ mm}$ ,通气量为 $2.4\text{ m}^3/(\text{个}\cdot\text{h})$ ,服务面积为 $0.33\text{ m}^2/\text{个}$ 。

#### ⑤ 辐流式沉淀池

新建中进周出辐流式沉淀池1座,用于澄清A/O系统出水,实现固液分离。沉淀池为圆形钢混结构,有效容积 $794\text{ m}^3$ ,表面负荷 $0.24\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。设刮吸泥机1台,功率 $1.5\text{ kW}$ ,吸泥水量 $40\text{ m}^3/\text{h}$ 。

#### ⑥ BAF

新建BAF1座,用于废水深度处理,进一步去除水中污染物。采用钢混结构,共4格,总有效容积 $96\text{ m}^3$ ,气水比为 $5:1$ ,主体填料采用粒径 $3\sim6\text{ mm}$ 轻质陶粒,填充层高度为 $3.0\text{ m}$ ,滤料共 $57.6\text{ m}^3$ 。配套工艺风机3台(2用1备), $P=5.5\text{ kW}$ ;反冲洗水泵1台, $P=6.0\text{ kW}$ ;反冲洗风机1台, $P=15\text{ kW}$ ;配水配气系统5套。

#### ⑦ 芬顿池

废水经BAF处理后,COD仍不能稳定达标,此时需采用物化方法严格控制出水水质,故新建Fenton氧化池2座,不仅能降低COD,而且硫酸亚铁能起到除磷作用。结合小试结果,最终确定芬顿池实际运行控制条件:pH值为 $3\sim4$ ,30%双氧水投加量为 $1\text{ L}/\text{m}^2$ ,双氧水与 $\text{Fe}^{2+}$ 投加物质的量之比为 $8:1$ (可根据运行情况调整)<sup>[6]</sup>。钢混结构,总有效容积 $40\text{ m}^3$ 。主要配套设备:搅拌机1台,功率为 $2.2\text{ kW}$ ;稀硫酸、双氧水、硫酸亚铁加药装置各1

套;pH计1台。

#### ⑧ 化学除磷池

新建化学除磷池1座,包括合建的2格混凝池和1格斜板沉淀池,并通过小试确定向废水中投加除磷剂 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (投加量按 $250\text{ g/m}^3$ 计)以达到沉淀除磷目的,同时去除悬浮物。混凝池采用钢筋混凝土结构,总有效容积为 $25.6\text{ m}^3$ 。配套设备:搅拌机1台,功率为 $1.5\text{ kW}$ ;混凝加药装置,2套。斜板沉淀池为钢筋混凝土结构,有效容积 $135\text{ m}^3$ ,水力负荷为 $0.90\text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ 。主要配套设备:斜管填料,聚丙烯材质, $20\text{ m}^3$ ;出水堰板2套。

#### ⑨ 污泥池

新增污泥池2座,主要用于贮存来自辐流式沉淀池和化学除磷池的污泥,并通过污泥泵进行污泥

回流,维持A/O系统污泥浓度。钢混结构,总有效容积 $108\text{ m}^3$ 。主要配套设备:污泥泵2台(1用1备), $Q=40\text{ m}^3/\text{h}$ , $H=100\text{ kPa}$ , $P=2.2\text{ kW}$ ;液位开关2套。此外,新增叠螺机1台,用于污泥脱水处理,功率为 $8\text{ kW}$ 。

### 4 运行效果

经过4个月的调试,该污水处理系统稳定运行。在进水满足设计要求的情况下,稳定运行后某月各构筑物平均出水水质及去除率见表2。根据表2可知,水泡粪养猪废水中COD、 $\text{NH}_3-\text{N}$ 和TP等含量很高,通过圆孔筛网+气浮预处理去除大部分污染物后,废水经生化+物化改造工艺处理,最终COD、 $\text{NH}_3-\text{N}$ 、TP的总去除率分别达到99.4%、96.7%、97.8%,出水各项指标均能达到排放要求。

表2 改造后各构筑物处理效果

Tab.2 Treatment effect of structures after transformation

工艺单元	COD			$\text{NH}_3-\text{N}$			TP		
	进水/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	出水/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	去除率/%	进水/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	出水/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	去除率/%	进水/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	出水/ ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	去除率/%
调节池	17 705			818			126		
圆孔网筛		8 311	53.1		693	15.3		83	34.1
气浮池		3 133	62.3		609	12.1		54	34.9
厌氧池		1 029	67.8		549	9.9		47	13.0
两级A/O池	1 688	265	84.3	580	51	91.2	52	28	40.4
BAF		171	35.3		27	47.1		28	
芬顿池		106	38.0					22	21.4
化学除磷池							22	2.7	87.7

### 5 经济分析

该工程的处理水量为 $500\text{ m}^3/\text{d}$ ,总投资为230.70万元,其中土建及安装费用为202.20万元,工程设计、调试及菌种费用共28.50万元;药剂投加费为 $2.81\text{ 元/m}^3$ ,人工费为 $0.60\text{ 元/m}^3$ ,电费为 $3.40\text{ 元/m}^3$ ,则废水处理费用为 $6.81\text{ 元/m}^3$ 。

### 6 结论及建议

针对某大型规模化养猪场废水 $\text{NH}_3-\text{N}$ 、TP含量高且含不易生化降解物质等特点,在充分利用现有处理设施基础上,采用圆孔网筛+气浮+厌氧池+两级A/O+BAF+Fenton池+化学除磷改造工艺对该养猪场废水进行处理,最终出水水质满足《鄱阳湖生态经济区水污染物排放标准》(DB36/852—2015)。该处理系统效果稳定,成本合理,管理便捷,对规模化养猪废水的处理具有一定的借鉴意义。

运行过程中发现的问题及建议:①Fenton池加药量控制。 $\text{H}_2\text{O}_2$ 与硫酸亚铁投加容易过量,对于废水处理产生不利影响,可考虑硫酸亚铁比小试确定的比例稍过量,并在除磷池通过沉淀去除多余 $\text{Fe}^{2+}$ 。②成本控制。可考虑用石灰代替烧碱调节pH值,降低加药费用。③水量增大。随着市场发展,养猪场规模增大是必然趋势,针对日后废水排放量增大的问题,可考虑加装生物填料,调整物化池加药量等措施保证出水效果。

### 参考文献:

- [1] 沈瀚,王亮,李明德,等. 填料型A/O工艺处理养猪废水中试研究[J]. 中国给水排水,2016,32(7):121-125.

SHEN Han, WANG Liang, LI Mingde, et al. Pilot-scale study on piggery wastewater treatment by anoxic/oxic process modified with packings [J]. China Water &

(下转第148页)