

养猪场粪污水阶段性循环利用技术工程实例

刘 茹¹, 张后虎¹, 贝业喜²

(1. 环境保护部 南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042; 2. 南京宁清畜牧科技有限公司, 江苏 南京 211199)

摘 要: 采用两相厌氧-生物接触氧化-矿化垃圾人工湿地床系统处理养猪场粪污水, 处理水量为 20 m³/d。运行结果表明, 在设计条件下, 出水水质稳定, 最终出水 COD 为 64 mg/L, 氨氮为 40.3 mg/L, TN 为 53.1 mg/L, TP 为 5.5 mg/L, SS 为 33.3 mg/L, 基本达到《畜禽养殖业污染物排放标准》(二次征求意见稿)。气浮出水可直接用于灌溉养殖场内农业种植区, 剩余小部分水经矿化垃圾人工湿地处理后排放。

关键词: 养猪污水; 两相厌氧池; 生物接触氧化池; 矿化垃圾人工湿地床

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2017)12-0097-04

Case of Periodic Recycling Project for Piggery Wastewater Treatment

LIU Ru¹, ZHANG Hou-hu¹, BEI Ye-xi²

(1. Nanjing Institute of Environmental Sciences, MEP, Nanjing 210042, China; 2. Nanjing Ningqing Animal Husbandry Science and Technology Co. Ltd., Nanjing 211199, China)

Abstract: The combination process of two-phase anaerobic reactor, biological contact oxidation reactor and mineralized refuse-based constructed wetland is adopted to treat piggery wastewater, and the treatment capacity is 20 m³/d. The operation results indicated that the effluent quality is stable under design conditions. The effluent COD, NH₄⁺-N, TN, TP and SS is 64 mg/L, 40.3 mg/L, 53.1 mg/L, 5.5 mg/L and 33.3 mg/L, respectively, which could meet the requirement of *Discharge Standard of Pollutants for Livestock and Poultry Breeding* (second consultation draft). Most of the effluent of air-floatation equipment was used to irrigate agricultural planting area, and the rest effluent was discharged after treatment via mineralized refuse-based constructed wetland.

Key words: piggery wastewater; two-phase anaerobic reactor; biological contact oxidation process; mineralized refuse-based constructed wetland

集约化养殖场通常会产生大量粪污水, 这些粪污水主要由圈舍冲洗水构成, 含尿液、粪便、饲料残渣等, 具有有机质含量高、氮磷含量高等突出特点^[1]。某万头养猪场采用水冲粪工艺, 需消耗 200 ~ 250 m³/d 水来冲洗圈舍粪便, 粪污水 COD 浓度为 15 000 ~ 40 000 mg/L, BOD₅ 为 6 000 ~ 18 000 mg/L,

NH₄⁺-N 为 600 ~ 1 800 mg/L, TP 为 35 ~ 300 mg/L^[2]。过量的氮磷直接还田利用不仅会影响作物的产量, 同时也会破坏土壤的结构^[3], 直接排放水体则会造成水体的富营养化^[4], 但是适量的氮磷又是作物、植物等生长不可或缺的营养物质, 通过工程削减后达到“种养平衡”需要的配比可有效实现资源

的回收利用、污染物的零排放^[5]。因此,在筛选养殖粪污水的处理模式时,应充分考虑到养殖粪污水的这一典型特点,在有效实现养殖粪污水中污染物有效削减的同时实现营养物质的有效循环利用,这也是畜禽养殖污染治理今后发展的必然方向。

1 污水水质及工艺流程

1.1 污水水质

本项目依托南京江宁某 I 级规模集约化生猪养

殖场。该养殖场最大存栏数生猪为 1 300 头。在生猪养殖过程中,采用水冲粪的清粪方式,产生大量的粪污水。

该养殖场原有设施仅为沼气发酵工程,沼液中含有发酵不充分的残留物,无法直接施用农田。储存过程中有恶臭,污染厂区环境。因此,2013 年对原有的工程进行了改扩建。

设计进、出水水质见表 1。

表 1 设计进水水质及出水要求

Tab. 1 Influent quality and effluent requirements

mg · L⁻¹

项 目	COD	BOD ₅	NH ₄ ⁺ - N	TN	TP	SS
进水水质	5 000 ~ 12 000	3 000 ~ 6 200	850 ~ 1 340	856 ~ 1 800	35 ~ 55	1 200 ~ 4 500
农田灌溉标准	200(旱)100(蔬)	100(旱)40(蔬)			10(旱)10(蔬)	100(旱)60(蔬)
排放标准	150	40	40	70	8	200

注: 排放标准参照《畜禽养殖业污染物排放标准》(二次征求意见稿)。

1.2 设计处理能力

结合该养殖场的实际情况,按成猪用水量为 15 L/(d · 头)计^[6],确定设计处理量为 20 m³/d。

1.3 工艺流程

本项目选用污水零排放处理系统,同时增加强

化生物、生态处理,处理后的水全部用于养殖场内种植区(茶园、果园、菜园)灌溉及冲洗圈舍用(主要用于冲洗圈栏和粪道),根据用水的标准筛选不同处理段的出水利用,既使废水处理费用大大降低,又改善了周边环境。工艺流程如图 1 所示。

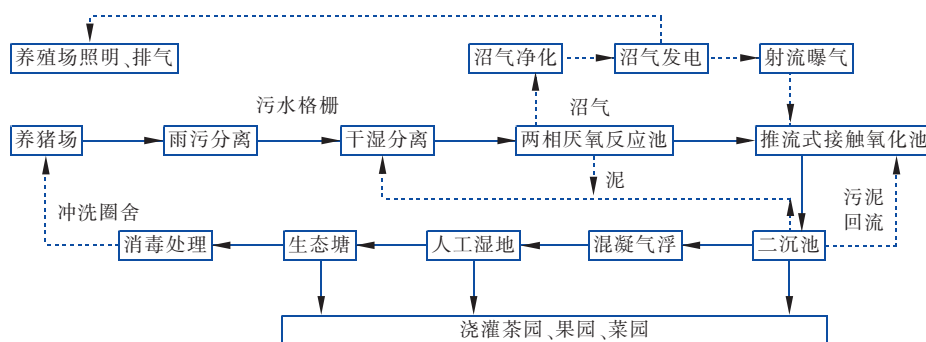


图 1 粪污水处理工艺流程

Fig. 1 Flow chart of wastewater treatment process

养殖场内实行雨污分流,粪污水由污水渠汇入原有储粪池,经固液分离后,干物质及沼渣运至干粪堆积场用于加工有机肥,污水进入调节池进行水质、水量调节,调节池出水自流入酸化池,先经过产酸阶段的预处理,使大分子有机物分解为小分子有机物,减轻了 UASB 产甲烷段的容积负荷及有毒有害物质对产甲烷菌的影响,提高了产甲烷效率。两相厌氧反应池出水进入生物接触氧化池,通过固体填料的吸附截留及固着生物膜的生物降解,去除悬浮物及有机物等。出水流入二沉池进行泥水分离,部分沉淀污泥回流到接触氧化池,出水经混凝气浮去除大部分悬浮物后,再进入后续的潜流人工湿地,通过矿

化垃圾填料的较强吸附作用及大量微生物的降解来去除氮、磷及部分有机物,最后进入生态塘。其中二沉池、人工湿地及生态塘内出水可以根据养殖场内种植区不同作物的营养需求进行分阶段使用,同时抽取生态塘内的水进行石灰消毒后回用于圈舍冲洗。

1.4 工艺特点

① 各工艺段结合厂区地势构建,均采用自流方式进、出水,省去提升泵的日常维护,同时节省大量能耗。

② 推流式生物接触氧化池内设置吸气式射流曝气装置,氧传递效率高,混合均匀。

③ 人工湿地填料采用填埋场填埋 10 年以上的矿化垃圾,利用矿化垃圾中丰富的微生物及颗粒较强的吸附截留效果,有效去除污水中的氮、磷。

④ 处理后的水部分用于种植区的灌溉,剩余部分深度处理后回用于圈舍冲洗,全部资源回收利用,实现零排放。

1.5 主要构筑物及设计参数

① 调节池。采用地下式砖混结构,尺寸为 $2.0\text{ m} \times 1.2\text{ m} \times 3.5\text{ m}$,停留时间(HRT)为 10 h,配 2 台潜污泵,1 用 1 备。

② 两相厌氧反应池。产酸反应池采用地下式钢筋混凝土结构,HRT 为 10 h,有效容积为 10 m^3 。UASB 反应器采用半地下式钢筋混凝土结构,尺寸为 $3.0\text{ m} \times 3.0\text{ m}$,高为 5.6 m。池底采用多点大阻力布水。

③ 生物接触氧化池。采用半地下式砖结构,水力推流式运行,分为两格,每格尺寸为 $3.5\text{ m} \times 0.7\text{ m} \times 2.0\text{ m}$,有效水深为 1.5 m,采用穿孔墙均匀布水,池内组合填料高度为 0.7 m,HRT = 10 h。

④ 潜流人工湿地。采用两级人工湿地,地下式砖混结构,第一级采用微曝气系统,形成较强的氧化环境,矿化垃圾填料深为 1.2 m,种植净化能力较强的香蒲、菖蒲、芦苇等多年生湿生植物,完成净化过程;污水以垂直方向自下而上进入湿地。湿地尺寸为 $6.0\text{ m} \times 5.0\text{ m} \times 2.0\text{ m}$;第二级为水平流潜流人工湿地,湿地尺寸为 $6.0\text{ m} \times 5.0\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ 。

2 工程调试运行

2.1 工程调试

2.1.1 产酸反应池和 UASB 反应池

该工程于 2014 年 1 月验收合格并正式运行。为了加快厌氧微生物活性恢复及驯化增殖效率,取

附近生活污水处理厂消化污泥(含水率约 75%)分别接种于产酸反应池和 UASB 反应池,分阶段依次增加容积负荷,直到满负荷运行,出水 COD 去除率达到 70% 左右。该阶段调试历时 55 d。

2.1.2 推流式生物接触氧化池

微生物的培养和驯化分三个阶段进行。菌种来自附近生活污水处理厂好氧(脱水)污泥,共计要投加脱水污泥 5 t(种泥干度为 20% 左右)。第一阶段:连续进水培菌。清水试车后排水,将菌种投入好氧池,再向好氧池中注入 1/4 池容的厌氧池出水,其余注入清水,启动曝气机进行曝气。控制进水 pH 值在 6.5 ~ 8.0,闷曝 2 d 后开始连续进水,每天的进水量为设计水量的 50% ~ 80%,开始曝气量为正常运行时的 50% ~ 80%,确保好氧池 DO 值为 2 ~ 4 mg/L。运行 7 d 后,好氧池内出现沉降性能良好的活性污泥絮体,MLSS > 1 500 mg/L,SV₃₀ > 15%,则可进入第二阶段。第二阶段:控制好氧池内的污泥负荷(F/M)在 0.2 kgBOD₅/(kgMLSS · d)左右、出水 DO 值为 2 ~ 3 mg/L。随着活性污泥浓度的增加,在满足污泥负荷的条件下,逐渐增加进水量。连续运行 40 d 后,达到设计处理水量,好氧池内的污泥浓度稳定在 3 000 mg/L 左右,SVI 值为 70 ~ 120 mL/g,COD、BOD₅ 去除率分别达到 80% 以上,此时可进入第三阶段。第三阶段:在第二阶段的基础上稳定运行一段时间,使得处理出水逐渐稳定并达到设计要求,此时可认为调试及试运行结束。此时填料上的生物膜厚度达到 2 mm 左右。

2.2 运行效果

该工程通过调试运行,出水水质稳定,经具有检测资质的部门定期取样测定(连续取样 5 次,每次间隔 5 d),各工艺段出水水质平均值见表 2。

表 2 主要构筑物的处理效果

Tab. 2 Treatment results in main structures

项目	两级厌氧			生物接触氧化池		气浮装置		潜流人工湿地		总去除率/%
	进水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	出水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除率/%	出水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除率/%	出水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除率/%	出水/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	去除率/%	
COD	8 800	1 310	85	928	30	278	70	64	77	99.3
NH ₄ ⁺ - N	780	834	-6	415	50.2	347	16.4	40.3	88.4	94.8
TN	856	861	-0.5	432	49.8	348	19.4	53.1	84.7	93.8
TP	149	35.6	76.1	42	-15.0	22.8	45.7	5.5	75.9	96.3
SS	5 760	490	91.5	160	67.3	15	90.6	10	33.3	99.8

注: 为了防止湿地堵塞,气浮装置只在二沉池出水 SS 浓度相对较高时开启。

从表 2 可以看出,整套工艺每个阶段的出水中 各污染物浓度均呈现逐渐下降的趋势,最终出水各

指标均能达到《畜禽养殖业污染物排放标准》(二次征求意见稿)的要求。

3 工程投资及效益分析

3.1 工程投资

该工程占地面积为 230 m²,总造价约 55 万元。运行成本主要来源于物化分离产生的电费及人工费用,运行成本为 0.5 万元/a。

3.2 效益分析

① 环境效益

按该工程运行,一千头猪每年可减少 COD 排放量 15 t,减少氨氮排放量 2 t,减少 TN 排放量 0.065 t,减少 TP 排放量 0.21 t。处理后出水无臭味,保护了周边水环境和大气环境。

② 经济效益

按千头猪算,年产天然有机肥为 115 t,可创造经济价值 5.75 万元/a;年节省猪舍冲洗水 3 000 m³,创造价值 1 万元/a;农田施肥节省尿素 2 t,创造价值 0.4 万元/a;厌氧塔沼气发电用于照明,节电为 1 × 10⁴ kW · h/a,创造价值 0.5 万元/a。合计综合经济效益为 7.65 万元/a。

4 结论

该工程采用两相厌氧-推流式生物接触氧化-潜流微曝气矿化垃圾人工湿地系统对猪场粪污水进行处理,处理水不外排,主要用于灌溉和回用冲洗圈舍。运行结果表明,出水水质可以达到《畜禽养殖业污染物排放标准》(二次征求意见稿),出水用于冲洗猪舍、冲厕、绿化,既减少了污染物的排放,又实现了资源的循环利用,为集约化养殖场污水处理提供了参考。

本系统采用阶段性循环利用模式,每一阶段的出水根据其水质特点,结合用水区域所需的养分及水质要求进行资源化利用,实现污染物零排放。

参考文献:

- [1] 高威. 规模化养猪场处理废水稻田利用技术研究[D]. 扬州:扬州大学,2014.
- [2] 王凯军,金冬霞,赵淑霞,等. 畜禽养殖污染防治技术与政策[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
- [3] 刘晨峰,郭黎卿,文宇立,等. “十二五”畜禽养殖污染减排问题及防治对策[J]. 环境污染与防治,2015,(3):86-89.
- [4] 张东梅. 猪场废水氮磷 MAP 回收工艺及其对传统厌氧-好氧处理系统的影响研究[D]. 杭州:浙江大学,2013.
- [5] Portejoie S, Dourmad J Y, Martinez J, et al. Effect of lowering dietary crude protein on nitrogen excretion, manure composition and ammonia emission from fattening pigs[J]. Livestock Production Science, 2010, 91:45-55.
- [6] 欧洲共同体联合研究中心. 集约化畜禽养殖污染综合防治最佳可行技术[M]. 北京:化学工业出版社,2013.



作者简介:刘茹(1979-),女,山东青岛人,博士,助理研究员,主要从事废水处理工艺研究。

E-mail: aimfei@163.com

收稿日期:2016-12-12

保障饮水安全,维护生命健康