

车建刚, 王金保, 邓 觅, 等. 新型 BCO-SBBR 组合工艺处理猪场沼液的效果[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(13): 193-195.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.13.053

# 新型 BCO-SBBR 组合工艺处理猪场沼液的效果

车建刚<sup>1</sup>, 王金保<sup>1</sup>, 邓 觅<sup>1</sup>, 梁 坤<sup>1</sup>, 黄学平<sup>1,2</sup>

(1. 南昌大学环境与化学工程学院鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室, 江西南昌 330047;

2. 南昌工程学院土木与建筑工程学院, 江西南昌 330099)

**摘要:**针对猪场沼液具有可生化性差、碳氮比(C/N)失调的特点,采用新型生物接触氧化-序批式生物膜反应器(BCO-SBBR)组合工艺对其进行处理,研究该组合工艺在实际工程应用中对化学需氧量(COD<sub>Cr</sub>)、氨态氮(NH<sub>3</sub>-N)和总磷的去除效果。结果表明,新型BCO-SBBR组合工艺能够有效去除猪场沼液中的COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>3</sub>-N和总磷,其去除率分别为53%、57.6%和49%。但是,COD<sub>Cr</sub>主要是在BCO中去除的,SBBR由于进水中C/N严重失调,对COD<sub>Cr</sub>的去除率很低。因此,采取向SBBR添加原水的方法提高SBBR进水中的C/N,使其对COD<sub>Cr</sub>的去除率增大。在添加原水后,组合工艺对COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>3</sub>-N和总磷的去除率分别为50.0%、81.0%、54.7%,可有效处理猪场沼液。

**关键词:**生物接触氧化(BCO);序批式生物膜反应器(SBBR);猪场沼液;原水

**中图分类号:** X713 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)13-0193-03

近年来,随着集约化养猪场的快速发展,它们对周围环境的压力也越来越大,主要集中体现在没有足够的土地和相应的粪污处理设施,以及处理养猪场每天产生的大量粪污和污水工作。因此,目前只有极少数的养猪场建有猪粪污处理设施,绝大部分粪污未经妥善回收利用与处理就直接排放,对环境及人体健康造成了极大的危害。经过厌氧发酵后的沼液可生化性差、碳氮比(C/N)失调,属于难降解废水<sup>[1-3]</sup>。生物接触氧化工艺被广泛应用于制药、印染、造纸、石油化工<sup>[4-7]</sup>等工业废水的处理中,且生物接触氧化工艺也被应用于处理低碳氮比的有机废水<sup>[8]</sup>方面。同样序批式生物膜反应器(SBBR)工艺在处理猪场废水方面也有相关的报道<sup>[9-11]</sup>。采用该组合工艺在某猪场进行工程应用研究。实践证明,该组合工艺具有占地面积小、投资少、运行稳定、管理方便等优点<sup>[12-13]</sup>。本研究拟通过试验表明,该工艺能够有效去除化学

需氧量(COD<sub>Cr</sub>)和氨态氮(NH<sub>3</sub>-N),有效处理猪场沼液。

## 1 工程概况

某规模化养猪场位于江西省万年县,日废水排放量约为150 m<sup>3</sup>,该养猪场原建有升流式固体厌氧反应器(USR)和沼气池,为对猪场废水进行深度处理以满足GB 18596—2001《畜禽养殖业污染物排放标准》的要求,建造了1套废水深度处理工程。

### 1.1 废水水质

该养猪场采用水冲粪的清粪工艺,原水经过升流式固体厌氧反应器(USR)及沼气池处理后进入调节池,通过提升泵将厌氧发酵液提升至生物接触氧化池。由表1可见,该猪场沼液的五日生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)/COD<sub>Cr</sub>≈0.18<0.3,可生化性差;且C/N≈1.13~2.44,碳氮比低,属于难降解废水。

表1 废水原水及其沼液水质

样品	COD <sub>Cr</sub> (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	NH <sub>3</sub> -N含量 (mg/L)	总磷(TP)含量 (mg/L)	pH值
原水	4 426.0~8 250.0	2 655.0~4 960.0	947.0~1 546.0	18.8~58.5	7.5~8.7
沼液	868.0~2 810.0	156.0~506.0	766.0~1 150.0	16.3~42.8	7.2~8.5

## 1.2 试验设备

### 1.2.1 生物接触氧化池

生物接触氧化池尺寸为8.3 m×

4.0 m×5.5 m,内设4道隔墙,隔墙尺寸为4.5 m×4.0 m×5.5 m、2.8 m×4.0 m×5.5 m,有效水深5.1 m,气水比(指1 h通入的气体体积与水体积的比值)1:25。池底安装72套Φ215 mm膜式微孔曝气器,整个池体为混凝土结构,全部位于地面以上,填料采用组合填料,曝气设备采用罗茨风机。

该生物接触氧化池的主要创新之处在于在传统生物接触氧化池的基础上增设4道隔墙,隔墙底部悬空,将池体分成硝化区、反硝化区,废水由反硝化区上端喷淋管进入,利用污水中的碳源进行反硝化反应,随后经隔墙底部进入硝化区,由于曝气作用,废水会自流入反硝化区,为反硝化反应提供硝酸盐,如此形成了一个无动力的内循环,提高了脱氮除磷效果。

1.2.2 SBBR池 SBBR池有2座,均为地上式钢混结构,单

收稿日期:2016-03-14

基金项目:国家自然科学基金(编号:51568048);国家科技支撑计划重点项目(编号:2007BAB23C02);江西省教育厅科技落地计划(编号:GJJ12001326);江西省科技计划(编号:20121BBF60052);江西省自然科学基金(编号:20132BAB203024);南昌大学鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室开放基金(编号:13005875)。

作者简介:车建刚(1987—),男,山东威海人,博士研究生,研究方向为水污染控制及资源化技术。E-mail:cjgsjs@126.com。

通信作者:王金保,教授,博士生导师,从事水污染控制及资源化技术的研究。E-mail:jbw@ncu.edu.cn。

池尺寸为 8.0 m × 4.0 m × 5.0 m, 相比传统的 SBBR 池, 新增设 2 道隔墙, 分为硝化区、反硝化区, 其尺寸分别为 8.0 m × 1.9 m × 5.0 m, 8.0 m × 1.6 m × 5.0 m, 排水比(值每个周期排出的水量与池容积的比)为 1 : 4, 滗水深度 1.2 m, 滗水器型号为 PS-50, 池底安装 60 套  $\Phi$  215 mm 膜式微孔曝气器, 2 座 SBBR 池分别采用 2 台型号为 HC60S 的回转式风机供气, 有效水深为 4.5 m, 池内添设组合生物填料, 高度为 3.0 m, 填料体积 96 m<sup>3</sup>。周期为 12 h, 其中曝气 4 h、缺氧 2 h、曝气 4 h、沉淀 1 h、排水 1 h。

SBBR 内增设的 2 道隔墙可以使废水在其中形成内循环, 使反应分为缺氧—好氧交替进行, 在空间和时间上提高了 SBBR 的脱氮除磷的能力。

### 1.3 污泥接种

向生物接触氧化池、SBBR 池内分别接种 7.5、3 m<sup>3</sup> 由某城镇污水处理厂提供的含水率约 80% 的脱水污泥。

### 1.4 采样与分析

整个工程运行过程中分别在生物接触氧化池和 SBBR 池的固定位置取待监测水样, 待沉淀后取其上清液分析 COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TP 含量等指标。其中 COD<sub>Cr</sub> 采用重铬酸钾滴定法测定, NH<sub>3</sub>-N 含量采用纳氏试剂分光光度法测定, TP 含量采用钼锑抗分光光度法测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 组合工艺的启动

调试初期, 将接种污泥投入到生物接触氧化池和 SBBR 池内, 以经过稀释的猪场沼液为底物, 驯化微生物, 使其快速附着在填料上。为使微生物尽快培养驯化, 向稀释的猪场沼液中投加一定量的营养物, 以补充碳源, 污泥经过 3 d 闷曝气后, 每天定时排掉池内部分废水, 同时补充新鲜废水, 并逐步提升新鲜废水的补充量, 使污泥微生物逐步适应废水水质。需注意, 曝气阶段曝气强度不宜过大, 以免冲刷掉已挂在填料上的生物膜, 但也要保持一定的搅拌作用以保证活性污泥与填料的充分接触。1 周后, 观察到填料的表面附着生长了 1 层黄褐色的生物膜, 手感黏稠且质薄, 但生物膜未完全覆盖填料, SV<sub>30</sub> (指曝气池混合液在 1 000 mL 量筒静止沉降 30 min 后污泥所占的体积分数) 在 10% ~ 20% 浮动, 继续提高负荷, 经过近 1 个月的调试, 生物膜已完全附着生长于填料表面, 且连片生长, 其 SV<sub>30</sub> 稳定在约 25%, 经镜检发现存在很多形状各异的菌胶团, 说明系统对各污染物去除效率比较稳定, 认为系统调试结束。

### 2.2 组合工艺对 COD<sub>Cr</sub> 的去除效果

生物接触氧化池和 SBBR 池自启动运行连续取样监测。经过近 40 d 系统成功启动, 反应器对 COD<sub>Cr</sub> 的去除效果见图 1。

调试初期, 将经过稀释的沼液引入组合工艺中, 闷曝 3 d, 每天定时定量排出部分废水, 同时补充等量的新鲜沼液, 由图 1 可知调试阶段及运行正常阶段 COD<sub>Cr</sub> 变化情况。组合工艺对 COD<sub>Cr</sub> 的去除情况大致可分为 2 个阶段: 第 1 阶段为 0 ~ 40 d, 第 2 阶段为 41 ~ 60 d。第 1 阶段为组合工艺启动阶段, 初期 COD<sub>Cr</sub> 去除率整体呈上升趋势, 但去除率不稳定, 波动较大, 这可能是由于污泥投放初期, 微生物在填料上形成的生物

膜量较少, 且生物膜的附着率也较低; 同时, 微生物整体处于适应阶段, 因此对 COD<sub>Cr</sub> 的去除不稳定。第 2 阶段为组合工艺的启动阶段, 此时系统对 COD<sub>Cr</sub> 的去除率相对稳定, 此时进水 COD<sub>Cr</sub> 浓度平均为 1 472 mg/L, 出水 COD<sub>Cr</sub> 浓度为 689 mg/L, COD<sub>Cr</sub> 平均去除率约为 53%, 可见该组合工艺能够有效去除废水中的有机物。

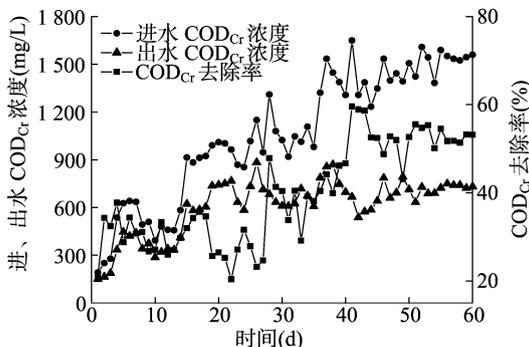


图1 组合工艺对 COD<sub>Cr</sub> 的去除效果

虽然组合工艺对 COD<sub>Cr</sub> 的去除率比较高, 但是研究发现这其中绝大部分是由生物接触氧化池贡献的, SBBR 池对 COD<sub>Cr</sub> 的贡献较小。这可能是由于沼液经过生物接触氧化池处理后, 出水碳氮比严重失调, 导致 SBBR 池不能有效处理废水。因此, 根据前人研究成果<sup>[11]</sup>, 采取向 SBBR 池中加入 30% 猪场原水的措施对其进行补充碳源。添加原水后, SBBR 池对 COD<sub>Cr</sub> 的去除率见图 2。

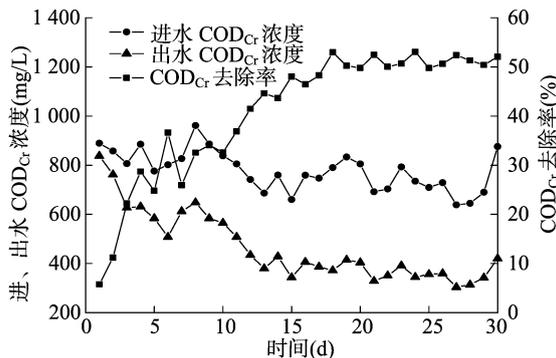


图2 添加原水后 SBBR 池对 COD<sub>Cr</sub> 的去除效果

制约 SBBR 池高效处理猪场沼液的关键因素主要有 2 个: 可生化性低及 C/N 低。因此, 通过向 SBBR 池内添加原水, 提高 C/N 比, 增强硝化/反硝化作用, 同时维持 pH 值在一定的范围内, 能够有效去除有机物和氨态氮。由图 2 可知, 添加原水后 SBBR 池进水 COD<sub>Cr</sub> 平均浓度为 780 mg/L, 稳定运行后, 出水 COD<sub>Cr</sub> 平均浓度为 363 mg/L, COD<sub>Cr</sub> 平均去除率可达到 50.0% 以上。

### 2.3 组合工艺对 NH<sub>3</sub>-N 的去除效果

由图 3 可知, 调试初期组合工艺对 NH<sub>3</sub>-N 的去除率随着进水 NH<sub>3</sub>-N 浓度变化而波动, 随着微生物的生长及驯化, NH<sub>3</sub>-N 的去除率逐渐稳定, 但是 SBBR 池对 NH<sub>3</sub>-N 的去除效果变差, 导致组合工艺对 NH<sub>3</sub>-N 的去除率不高, 这是由于微生物在反应器中不能有效利用低 C/N 的猪场沼液进行反硝化作用, 中和硝化作用产生的酸, 使反应器中的 pH 值降低, 最终引起 NH<sub>3</sub>-N 的去除能力下降。系统稳定运行时,

$\text{NH}_3\text{-N}$  平均去除率为 57.6% 左右。然而,对 SBBR 池引入原水后,组合工艺对氨氮的去除效率明显提高,平均去除率可达到 74% 以上,反应器中废水的 C/N 提高,反硝化作用能够有效进行,能够有效中和硝化作用产生的酸,保证反应器中的碱度,保证氨氮的去除效率稳定。待系统稳定运行后, $\text{NH}_3\text{-N}$  平均去除率为 81.0% 左右。同时,曝气过程中 SBBR 池产生的泡沫少,沉淀出水时上清液呈现棕褐色,且能看到微小的气泡产生,这说明反应器内在进行反硝化作用。

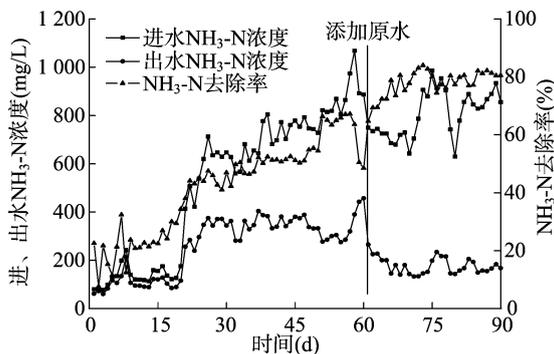


图3 组合工艺对  $\text{NH}_3\text{-N}$  的去除效果

#### 2.4 组合工艺对 TP 的去除效果

由图 4 可知,在调试初期(即 0~40 d)组合工艺对 TP 的去除率变化较大,效果不稳定;在 41~60 d 对 TP 的去除效果趋于稳定,平均去除率稳定在 49%。这说明组合工艺对 TP 具有良好的去除效果,且抗冲击负荷能力强。添加原水后,组合工艺出水 TP 浓度比较稳定,TP 的平均去除率约为 54.7%。添加原水后,组合工艺去除 TP 的效果比未添加的好,这可能是由于贮磷菌的生长取决于发酵基质的供应情况,因此磷的去除取决于废水中易降解有机物的多少<sup>[14-15]</sup>,添加原水后,反应器中的易降解有机物增多,能够满足贮磷菌的能量需求。

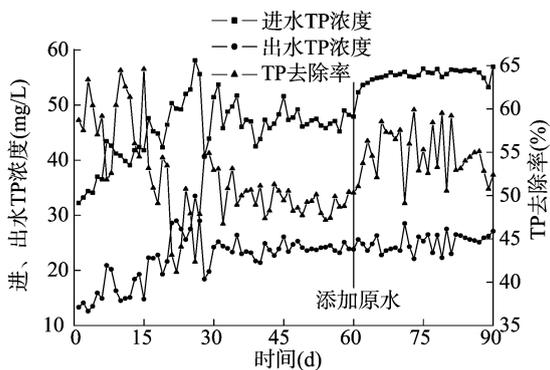


图4 组合工艺对 TP 的去除效果

### 3 结论

(1) 经过 3 个月的调试及 1 年的稳定运行,BCO-SBBR 组合工艺运行稳定,能够有效去除猪场沼液的  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$  及 TP,平均去除率分别为 50.0%、81.0% 和 54.7%。(2)

添加原水后,SBBR 对猪场沼液  $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP 的去除效果均提高,并且运行稳定。(3) 该组合工艺单独处理猪场沼液出水不能满足 GB 18596—2001《畜禽养殖业污染物排放标准》的要求,因此配合该工程中的其他工艺能够有效处理猪场沼液,最终满足 GB 18596—2001《畜禽养殖业污染物排放标准》的要求。

#### 参考文献:

- [1] Cantrell K B, Stone K C, Hunt P G, et al. Bioenergy from coastal bermudagrass receiving subsurface drip irrigation with advance-treated swine wastewater [J]. *Bioresource Technology*, 2009, 100 (13): 3285-3292.
- [2] Whang L M, Chien I C, Yuan S L, et al. Nitrifying community structures and nitrification performance of full-scale municipal and swine wastewater treatment plants [J]. *Chemosphere*, 2009, 75 (2): 234-242.
- [3] 杨朝晖, 曾光明, 陈信常, 等. 规模化养猪场废水处理工艺的研究 [J]. *环境工程*, 2002, 20 (6): 19-21.
- [4] 刘义雄, 胡翔宇, 王白杨, 等. 水解/接触氧化/生物滤池处理保健品制药废水 [J]. *中国给水排水*, 2014, 30 (14): 67-69.
- [5] 黄瑞敏, 刘欣, 林德贤, 等. HABR/混凝/生物接触氧化工艺处理印染废水 [J]. *中国给水排水*, 2011, 27 (30): 87-89.
- [6] 李亚峰, 高颖. 气浮-水解酸化-生物接触氧化-气浮工艺处理造纸废水工程实例 [J]. *水处理技术*, 2014, 40 (9): 128-130.
- [7] Guo C M, Chen Y, Chen J F, et al. Combined hydrolysis acidification and bio-contact oxidation system with air-lift tubes and activated carbon bioreactor for oilfield wastewater treatment [J]. *Bioresource Technology*, 2014, 169: 630-636.
- [8] Zhang M, Wang C, Peng Y Z, et al. Organic substrate transformation and sludge characteristics in the integrated anaerobic anoxic oxic-biological contact oxidation ( $\text{A}^2/\text{O}$ -BCO) system treating wastewater with low carbon/nitrogen ratio [J]. *Chemical Engineering Journal*, 2016, 283: 47-57.
- [9] 吴永明, 万金保, 熊继海, 等. IOC-SBBR 联合工艺处理高氨氮猪场废水的快速启动与运行优化 [J]. *工业水处理*, 2010, 30 (10): 40-44.
- [10] 万金保, 赵萍, 吴永明, 等. SBBR 处理猪场厌氧消化液脱氮除磷实验研究 [J]. *江西科学*, 2010, 120 (28): 432-435.
- [11] 万金保, 陈琳, 吴永明, 等. IOC-SBBR-人工湿地组合工艺在猪场废水处理中的应用 [J]. *给水排水*, 2011, 37 (7): 47-51.
- [12] 赵慧贤. 生物接触氧化法及其研究进展 [J]. *工业安全与环保*, 2010, 36 (9): 26-28.
- [13] Fdzlolanco F, Mendez E, Uruena M A. Spatial distribution of heterotrophs and nitrifiers in a submerged biofilter for nitrification [J]. *Water Research*, 2000, 34 (16): 4081-4089.
- [14] Tchobanoglous G, Burton F L, Stensel H D. *Wastewater engineering: treatment and reuse* [M]. New York: McGraw-Hill Education Co, 2003.
- [15] 梁建祺, 宁寻安. 生物接触氧化技术在低温条件下脱氮除磷效果试验研究 [J]. *环境工程*, 2009 (27): 34-37.