

规模化养猪场粪污处理工程设计

陈彪¹, 陈敏², 钱午巧¹, 翁伯琦², 徐庆贤¹

(1. 福建省农科院地热农业利用研究所, 福州 350003; 2. 福建省农科院红萍研究中心, 福州 350003)

摘要: 根据循环经济和可持续发展的理念, 以实现资源和能源利用的最大化为原则, 提出了以固液分离机与厌氧中温发酵工艺技术相结合的规模化畜禽养殖场污水综合治理方法。结合福建省南平市大横农业生态园区大型养猪场污水治理工程实践, 表明该技术可以解决禽畜养殖业的废水污染问题。处理后水质: COD_{Cr} 为 $367\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 BOD_5 为 $132\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 SS 为 $169\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $NH_3\text{-N}$ 为 $76\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 均符合国家《畜禽养殖业污染物排放标准》规定的要求, 而且工程运行效果稳定, 经济效益和生态效益显著。

关键词: 养猪场; 污水处理; 厌氧; 工程设计; 效益分析

中图分类号: S828; S273.5

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)02-0126-05

陈彪, 陈敏, 钱午巧, 等. 规模化养猪场粪污处理工程设计[J]. 农业工程学报, 2005, 21(2): 126-130

Chen Biao, Chen Min, Qian Wuyao, et al. Design of sewage treatment engineering on large-scale swine farm [J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(2): 126-130 (in Chinese with English abstract)

0 引言

猪场污水属于高浓度有机污水。若按常规处理方法, 投资大, 工艺复杂, 管理也繁杂, 运行时需投入大量动力, 造成运行费用高昂, 一般牧业生产难以承受。根据畜牧场具体情况, 摸索出处理效率高、投资小、管理方便、运行费用低、资源利用率高的新工艺, 有实用意义^[1]。根据福建省南平市统计资料, 至 2002 年全市有规模化养猪场 283 家, 年存栏数 84.63 万头; 有规模化奶牛场 48 家, 年奶牛存栏数 6.78 多万头。初步估算, 南平市规模化畜禽养殖场年粪尿生产量达 972.6 多万 t, 综合处理量极少, 利用率不足 30%, 这样仅规模化畜禽养殖业年排放污染物就达到 386.4 多万 t, 大于本市工业污染物排放量, 已成为农村环境和闽江流域水质污染的一个主要来源, 在一定程度上制约了区域经济的可持续发展。因此, 采用有效的技术, 对畜牧业污水进行综合治理已刻不容缓。目前, 国内外养殖场粪污治理的方法多采用厌氧发酵技术, 其发酵反应器的密封性和保温效果较差, 运行尚缺乏高效性和长效性。为此, 笔者进行了一系列探索, 采用玻璃钢材料和万通板作为厌氧发酵池衬里, 解决了运行高效性与长效性问题; 根据大横农业生态园区养猪场的地理条件和污水排放特点, 结合周边种植结构, 因地制宜地采用以固液分离机与厌氧中温发酵工艺技术相结合的工艺, 探索出一种低投入、低运行成本的规模化养殖场污水处理的新模式。

1 污水处理工艺流程的设计与特点

1.1 工艺流程的总体设计

规模化养猪场污水排放量相对集中, 污水的有机物浓度高, 悬浮物多且水量波动大^[2], 若这些废弃物集中排放或处理不当, 不仅造成可利用资源的大量流失, 降低经济效益, 而且给农业生态环境带来严重的破坏, 影响周边地区整体经济的可持续发展^[3,4]。根据养猪场污水的水质特性, 本设计采用固液分离-厌氧生物技术和厌氧-还田生态循环利用模式。该模式由预处理系统、达标处理系统和资源化生态利用系统等组成, 其主要工艺流程见图 1。

图 1 污水处理工艺流程图

Fig 1 Schematic diagram of the process of sewage disposal

1.2 工艺流程的特点

规模化养猪场污水污染危及城市和农村的生态环境, 而以收集沼气能源为主的传统治理工艺存在一定的局限性。20 世纪 90 年代以来, 中国沼气利用已经从解

收稿日期: 2004-02-09 修订日期: 2004-06-28

基金项目: 福建省发展计划委员会闽江流域污染治理项目和福建省科技攻关计划重点项目(编号 2003NO44)共同资助

作者简介: 陈彪(1965-), 男, 助理研究员, 农业工程研究室主任, 主要从事农业工程应用技术研究。福建省农科院地热农业利用研究所, 350003

决农村燃料发展成为现代化生态农业建设的有效途径^[1]。本项目采用的处理工艺及技术的主要特点有:

- 1) 遵循以达标排放为主, 综合利用为辅的治理原则;
- 2) 综合利用污水中可回收的物质和能源。有害粪污经格栅分离及固液分离机处理后形成的有机固态物, 直接用于田间施肥或深加工成有机肥或有机复合肥; 污水经中温发酵工艺处理, 产生的沼气可作为区域的补充能源, 同时沼液用于果园、牧草的灌溉施肥, 避免了二次污染;
- 3) 工艺流程配置因地制宜。主体结构设计充分利

用已有污水排放沟及自然地势差, 建立封闭式运行模式, 结构紧凑, 整体性好, 便于管理; 并在达到工程目标的前提下简化流程, 降低造价, 以提高综合经济效益。

2 主要单元结构设计和关键参数的确定

目前以沼气为纽带, 对养猪场污水的综合治理与利用, 是大家普遍认可的基本方案。但是, 处理工艺的技术方案和相应各单元结构的不同, 其处理效果与综合利用效益亦有所不同。图 2 为本系统各单元结构及其相互关系示意图。

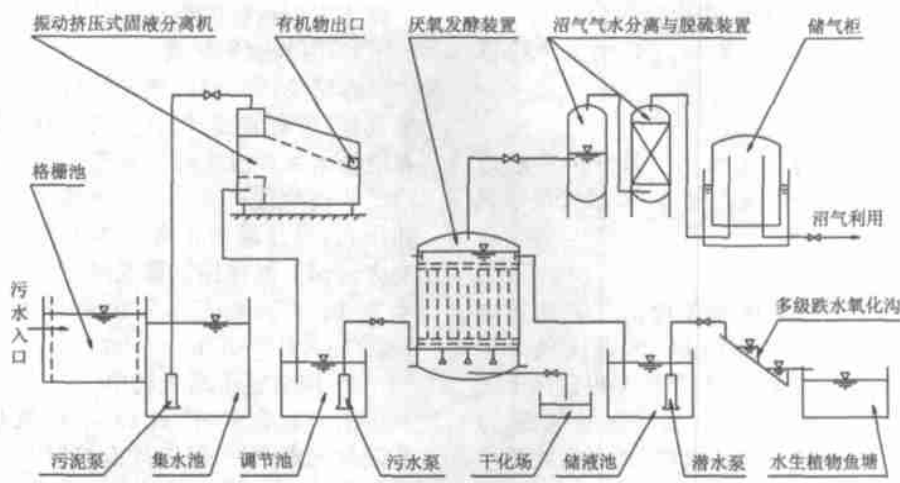


图 2 系统各单元结构与相互关系示意图

Fig 2 Schematic diagram of system structure and relationships among the components

2.1 预处理系统

预处理系统工艺技术方案的设计, 是整个处理工艺技术的关键所在, 它不仅直接影响达标系统的污水处理效果, 而且也直接影响后处理各单元的工程投入。本预处理系统包括人工清扫固态物、格栅分离、固液分离设备和酸化调节池等。

1) 人工清扫固态物与格栅分离

畜禽养殖污水内大量固态物含有各种病原菌和寄生虫卵, 未经处理直接农用, 会产生严重的二次污染, 若直接冲洗入池, 势必增加后处理负荷和处理成本。因此, 在该处理系统中除实行人工清扫固态物外, 在污水排入口设置格栅, 分离去除养猪场排水中大的固态物, 以防阻塞水泵和影响后处理单元的正常运行。格栅结构为砖混结构, 尺寸为 $1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 0.6\text{ m}$, 格网尺寸 $15 \sim 25\text{ mm}$ 、格栅倾角 $50 \sim 70^\circ$ 。同时, 格栅设置有工作平台, 便于清除固态物和清洗。

2) 固液分离设备

在传统的养猪场污水处理工艺中, 添加固液分离机前处理设备, 能有效地降低污水排放浓度, 减轻污水达标处理系统的压力, 减少污水处理工程投资。固液分离机能大量地去除污水中的粗纤维等有机物, 供生产有机肥或有机复合肥之用, 同时有效地降低厌氧消化池沉渣堵塞的机率, 避免厌氧发酵池的阶段性的清池的麻烦, 提高整个工艺系统运行的可靠性和稳定性^[5]。本系统中采

用自行设计研制的 FZ—12 型固液分离机, 并配套建设了一个搅拌池。该固液分离机设备长 \times 宽 \times 高为 $1.1\text{ m} \times 1.2\text{ m} \times 1.8\text{ m}$, 电机功率为 0.75 kW , 处理污水能力为 15 t/h , 主要特点有设计内置振动筛系统、螺旋送料系统和自动冲洗系统, 在性能上集污水的输送、固态悬浮物的振动筛选与挤压、筛网的自动冲洗为一体, 而且可根据整体工艺和处理模式的要求, 调节分离流量与振动筛网目数, 滤取污水中的固态物, 减少固态物的入池量, 实现污水处理的减量化。搅拌池结构一般为圆柱形钢筋混凝土结构, 尺寸为 $\Phi 2.5\text{ m} \times H 3.0\text{ m}$ 。

表 1 固液分离机处理前后的污水水质

Table 1 Sewage quality before and after being treated by solid-liquid separator

指标/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	固液分离前	固液分离后	单项去除率/%
COD _{Cr}	15000	4522	69.98
BOD ₅	5250	1762	66.44
NH ₃ -N	2200	880	40
SS	6600	1650	75

注: 分离机的筛网为 60 目; 表中数据为 2003 年 8~11 月的 3 次检测结果的平均值。

南平市环保检测站进行出水抽样检测结果表明(表 1), 本系统中使用的固液分离机对污水中固态物的去除效果明显, 污水中 COD_{Cr} 和 BOD₅ 单项去除率分别达到 69.98% 和 66.44%。在污水后处理方面, 由于大部分的

粗纤维等固态物被有效去除了,在同样达标处理的情况下,厌氧发酵池水力停留时间 HRT 可缩短 2 d 以上,(相当于少建沼气池 150~200 m³,节约工程费用 6~8 万元),而且厌氧发酵后污水浓度更低,还能减轻污水后处理的运行费用。因此,在预处理系统工艺设计中,选择固液分离机等机械设备处理方法,尽可能地减少后处理污水有机负荷,是实现达标处理的重要手段之一。

3) 酸化调节池

酸化调节池对经固液分离机分离后的污水进行混合、储存和调节,起到初步酸化水解作用,以满足厌氧发酵工艺的技术要求。酸化调节池的结构采用钢筋混凝土结构,其容积设计一般应考虑 1.5~2.0 d 的水力停留时间,池深以 1.5~2.0 m 为宜。

2.2 达标处理系统

达标处理系统是确保养殖污水达标排放的中心系统,它包括上流式厌氧发酵塔、沉淀储液池、曝气跌水氧化沟等。

1) 上流式厌氧发酵塔

在沼气工程中,厌氧发酵塔是关键的工艺装置之一,污水中的 80% 以上的 COD_{Cr} 和 BOD₅ 在厌氧中温(保温)发酵过程中被消化去除^[6]。本项目工程选用上流式厌氧发酵塔,塔内设填料、布水器、破壳网等装置,以确保厌氧菌数量和污水先进先出的原则。南平市大横农业生态园区大型养猪场 3300 头的养殖规模,日污水排放量为 3300 头 × 1.8 m³/百头/天 = 59.4 m³,设计水力停留时间 HRT 为 4 d,厌氧发酵塔容积为 50 × 4 = 200 m³,为此需建设一个 200 m³ 的发酵塔。发酵塔结构采用地面上钢筋混凝土园型结构,尺寸为 Φ6.0 m × H7.0 m。另外还对发酵塔传统的保温层进行了改进设计和材料国产化,采用内外面双层玻璃钢保温,直接替代传统的模板,用钢筋固定后浇注与池体连成一体,用这种形式进行施工和选用这种材料保温,不仅施工方便,降低保温材料费用 48%,而且保温性能与密封性能好,污水处理效果稳定。同时在塔内设置双向折流布水装置、填料装置、破壳装置和排渣装置,并在塔顶设计自动卸压装置,以提高整个系统工程运行和管理的安全性。

2) 沉淀储液池

经发酵后的沼液直接排入沉淀池,该沉淀池除起过滤作用外,还有二次发酵去除氨氮的效果。根据园区地形自然坡度和种植结构特点,在山顶建设了 2 个容积为 100 m³ 的钢筋混凝土储液池,利用泵将沼液从沉淀池处直接抽至储液池,作为园区内 26.7 hm² 果木等的施肥用水。

3) 跌水氧化沟

储液池内的污水,虽然经过沉淀与二次发酵,但水质仍较黑,应加以增氧处理,使污水与空气充分接触,增加水中溶氧量^[7],进一步促进厌氧发酵后污水的充分氧

化,同时配套适当面积的生物氧化池,促进好氧微生物进一步消耗污水中的 COD_{Cr}、BOD₅ 和 SS,最终达到《畜禽养殖业污染物排放标准》规定的排放要求。在实际工程设计中,结合周边地势与种植结构因地制宜进行主体设计,或选择多级自然跌水。生物氧化池以土池为佳,水力停留时间 HRT 为 20 d。本工程设计中将地面的原有 3000 m² 养鱼池改造成生物氧化池,利用地势高度差 38 m,从山顶储液池至地面生物氧化池开挖宽 0.8 m 的多级跌水氧化沟。

2.3 资源化生态利用系统

1) 堆肥处理系统

将人工清扫的粪渣以及固液分离机滤取的固态物,直接进行堆肥处理,用于生产有机肥或有机复合肥,实现污水治理系统工程的废物资源化和生产清洁化,提高了整体工程运行的经济效益和生态效益。

2) 沼气收集装置

养猪场污水经厌氧发酵后产生的沼气,通过沼气收集装置、脱硫装置、气水分离装置经输配系统供应,作为养殖场内生产或生活的补充能源。在沼气工程设计中,沼气收集装置一般采用浮罩式储气柜,钟罩内设置安全卸压孔,设计罐内正常工作压力为 350 mm 水柱,水封池为地面上圆柱体钢筋混凝土结构。本工程中水封池尺寸为 Φ5.0 m × H3.15 m,钟罩为 A3 钢结构,尺寸为 Φ4.2 m × H2.85 m。

3) 沼液还田灌溉利用

沼液富含 N、P、K 和 17 种氨基酸、多种活性酶以及微量元素,是一种速效有机肥^[7]。以沼气工程为纽带,结合农牧生产的资源综合利用和能源建设工程模式是中国应用广泛、生态经济效益显著的生态农业工程模式类型之一^[8,9]。在本工程规划和工艺设计中,充分考虑养猪场周边地势条件与种植结构,对沼液进行还田灌溉利用,实现资源利用的最大化效益。本工程在园区内建有 2 个 100 m³ 储液池存储沼液和 3000 m² 的生物氧化塘,经灌溉系统用于园区内 26.7 hm² 果木的还田灌溉利用,有效改善园区内农业生态环境和提高农作物的产量和品质。

3 结果与讨论

3.1 工程运行效果与分析

本工程自 2003 年 4 月 23 日启用后,运行效果稳定,出水水质良好,污水处理达到了预定的设计目标,各项指标均符合《畜禽养殖业污染物排放标准》的要求,其中: COD_{Cr} 为 367 < 400 mg/L, BOD₅ 为 132 < 150 mg/L, SS 为 169 < 200 mg/L, NH₃-N 为 76 < 80 mg/L。

表 2 显示各主要单元处理效果。从污水水质主要指标参数 COD_{Cr}、BOD₅、SS 和 NH₄⁺-N 来看,在预处理系统中,养殖污水通过格栅、固液分离机等技术处理后,去除率分别达到 71.60%、68.15%、76.97% 和 62.15%,说明固液分离大大降低了后处理单元的负荷,起到系统减负的关键作用;在达标系统中,养殖污水经过中温厌

氧发酵、跌水沉淀和生物氧化塘等生物处理后, 去除率分别达到 28.4%、31.85%、23.03% 和 37.85%, 说明该系统是污水治理达标排放的重要设施。根据项目的污水处理工艺设计与工程建设规划, 该地区年平均气温 19℃, 年平均降水量 1712 mm, 年日照时数 1714.4 h, 年平均蒸发量约 1300 mm, 园区内种植 26.7 hm² 果木。

由此计算, 年可消纳农灌用水量: $V_{年} = 1.3 \text{ m} \times 26.7 \text{ hm}^2 \times 10000 \text{ m}^2/\text{hm}^2 \times 30\% = 104005.2 \text{ m}^3$ (30% 为该地区年平均作物系数); 日均消纳农灌用水量: $V_{日} = V_{年}/365 = 284.9 \text{ m}^3$ 。由于 26.7 hm² 果木的消纳农灌用水量大大地超过养殖污水排放量 (50 m³), 故本项目对周边流域不构成污染。

表 2 运行效果的检测结果

Table 2 Measured operational results of the sewage treatment system

	COD _{Cr} /mg·L ⁻¹			BOD ₅ /mg·L ⁻¹			SS/mg·L ⁻¹			NH ₃ -N/mg·L ⁻¹		
	进水	出水	去除率/%	进水	出水	去除率/%	进水	出水	去除率/%	进水	出水	去除率/%
固液分离	15000	4522	71.60	5250	1762	68.15	6600	1650	76.97	2200	880	62.15
厌氧发酵	4522	580	26.94	1762	307	28.43	1650	308	20.88	880	162	33.80
暴气氧化	580	367	1.46	307	132	3.42	308	169	2.15	162	76	4.05
排放标准	< 400			< 150			< 200			< 80		

注: 1. 排放标准按 GB 18596-2001《畜禽养殖业污染物排放标准》; 2. 去除率为单元去除数/总去除数的百分比; 3. 各项指标均为平均值。

3.2 工程经济效益分析

1) 工程投资概算

从表 3 得知, 本工程总投入 44.72 万元, 其中土建投入 25.96 万元, 设备投入 16.63 万元, 其他投入 2.13 万元。

表 3 主要构筑物及设备

Table 3 Main structures and equipment

编号	名称	规格与数量	金额/万元	备注
1	格栅	1.5m × 1.0m × 0.8m, 1 个	0.28	含检查井
2	搅拌池	Φ2.0m × H3.0m, 1 个	0.48	
3	酸化调节池	10.0m × 2.0m × 3.0m, 1 个	1.80	
4	厌氧发酵塔	200m ³ , 1 个	10.80	含填料
5	储气装置	50m ³ , 1 个	4.60	含水槽与钟罩
6	沉淀池	12.0m × 4.0m × 3.0m, 1 个	2.40	
7	储液池	100m ² , 2 个	4.60	地面式
8	氧化沟	70.0m × 0.8m	1.00	地面式
1	固液分离机	600 × 1500, 1 台	4.50	自研制
2	潜污泵	AS55-4CB, 2 台	0.90	购置
3	保温材料	玻璃钢内外保温层	4.20	自制
4	布水装置	3 个	0.58	购置
5	脱硫器	4 个	1.20	购置
6	沼气炉具		0.50	购置
7	灌溉管道	Φ300	4.75	包括简易喷灌设备
其他	勘察设计、设备运输、安装调试、技术指导等 42.59 × 5% = 2.13 万元			
工程总投入	44.72 万元			

2) 经济效益分析

从上述情况分析表明, 不计沼液综合利用的生态效益与污水处理的社会效益, 每月可获得的净收入, 即工程直接效益为总收入 - 总运行费用 = 45144.0 - 33420.0 = 11724.0 元。本工程总投入 44.72 万元, 大约 3 年多就可以得到回收, 投入与产出比是可行的。

表 4 工程运行费用与收入 (按每月计)

Table 4 Income and operational cost of the project (monthly)

工程运行费用	总金额/元	工程运行收入	总金额/元
1. 运行能耗费用	1620.0	1. 沼气收入	7128.0
2. 人工管理费用	2000.0	2. 肥料收入	38016.0
3. 折旧费用	29800		
合 计	33420.0	合 计	45144.0

说明: 1. 本工程污水处理设备总装机容量大约为 22.5 kW, 所用设备平均日运行 4 h, 电费按 0.6 元/kW·h; 2. 养殖场污水处理工程只需 2 人负责管理, 按该地区标准平均每人月工资为 1000 元; 3. 根据养殖规模和原料产气率, 本工程可日产沼气的量为 $3300 \times 6 \times 20\% \times 20\% \times 0.25 = 198 \text{ m}^3$, 按 1.2 元/m³ 计算; (猪粪 TS 为 20%、猪粪的沼气产量为 0.25 m³/kg TS, 体重 50 kg 的猪平均每天每头排泄粪为 6 kg^[10]。本工程中养殖规模为 3300 头, 猪粪入池率为 20%); 4. 有机肥收入: 根据养殖规模及猪粪等固态悬浮物收集情况, 本工程正常运行后可月产粗肥 3300 × 6 × 20% × 80% × 30 = 95.04 t, 目前按每吨售价 500 元计算, 扣除每吨处理成本 100 元 (本工程中猪粪收集率为 80%、每月以 30 d 计算); 5. 该工程使用年限按 15 年计算。

4 结 论

本研究的工程设计是生态环保型, 依据生态经济学原理和系统工程学方法进行统筹规划, 采用厌氧生物技术和厌氧-还田生态循环利用模式, 治理养殖场污水。该技术还可以用于已建但未能达标的养猪场的污水处理工程的改造, 可望为规模化养猪场污水处理创立了一种实用生态型技术模式, 以取得良好的经济、生态和社会效益。工程实践结果表明:

1) 前处理中采用牧场清洁生产与固液分离相结合的方法, 这不仅可以减少后处理的工程投资, 而且可以提高有机肥的质量和系统工程运行的经济效益。

2) 在工程技术上采用内外双层玻璃钢保温层, 保温性能和密封性能好, 可进一步提高原料利用率与池容产气率。

3) 因地制宜对沼气和固态物的生产利用以及对沼液的综合利用, 实现养殖业、种植业的良性循环, 使整个污水处理系统工程资源化、生态化。

4) 因地制宜的应用 UASB 工艺技术, 利用地势结

构特点设计多级自然跌水生物氧化沟或开发水生植物水解池等后处理设施, 以确保达标排放的标准。

[参 考 文 献]

- [1] 汪植三, 李其谦, 廖新佛. 蓄禽舍粪便污水及废气净化的研究[J]. 农业工程学报, 1995, 12(4): 90- 95
- [2] 邓良伟. 规模化猪场粪污处理模式[J]. 中国沼气, 2000, 19(1): 29- 32
- [3] 钱午巧. 福州市郊泉头村生态工程建设初报[J]. 福建农学院学报, 1994, 9(2): 51- 54
- [4] 邓良伟, 蔡昌达, 陈络铭. 猪场废水厌氧消化液后处理技术研究及工程应用[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 92- 94
- [5] 沈 瑾. 规模化猪场粪污水处理固液分离工艺与设备[J]. 中国沼气, 1999, 17(4): 18- 20
- [6] 周孟军. 增设软纤维填料对升流式固体反应器性能的影响[J]. 中国沼气, 1995, (1): 8- 11
- [7] 陈 敏, 刘中柱, 卞祖良. 高密度水产养殖自控生态大棚的水质净化技术[J]. 农业工程学报, 2002, 18(6): 95- 97
- [8] 赵恒斗. 规模化养猪污水产生、治理与综合利用[J]. 中国沼气, 1996, 14(3): 30- 32
- [9] 叶旭君. 以沼气工程为纽带的生态农业工程模式及其经济效益分析[J]. 农业工程学报, 2000, 3(2): 93- 95
- [10] 张无敌. 沼气发酵残留物利用基础[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2002, 6- 11
- [11] Ye Xu jun, Wang Zhaoqian. Sustainable use and management of agricultural resources through biogas engineering. Chinese Ecological Agriculture and Intensive Farming Systems [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1999: 171- 183

Design of sewage treatment engineering on large-scale swine farm

Chen Biao¹, Chen Min², Qian Wuqiao¹, Weng Boqi², Xu Qingxian¹

(1. Geothem Agricultural Utilization Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China;

2. Azolla Reseach Center, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China)

Abstract According to the theory of circular economy and sustainable development, and based on the principle of maximizing the utilization of resources and energy, a comprehensive route has been put forward to control sewage pollution on swine farm, combining solid-liquid separator with anaerobic fermentation. The practice of swine sewage treatment on large-scale farm in Nanping Daheng Agroecological Farm, showed that pollution problem in animal husbandry industry could be solved by such a route. The out-let wastewater indexes for COD_{Cr}, BOD₅, SS and NH₄⁺-N, reached 367 mg/L, 132 mg/L, 169 mg/L, 76 mg/L, respectively, which meet the Intergrate Pollutant Discharge Standard according to "The drainage standard for sewage from livestock and poultry production". The project was operated stably and remarkable benefits in economy and ecology were obtained.

Key words: livestock and poultry farm; sewage treatment; anaerobic fermentation; engineering design; benefit analysis