

杭州灯塔养殖总场沼气与废水处理工程的技术特点

寿亦丰¹, 蔡昌达¹, 林伟华¹, 蔡磊¹, 石东伟¹, 邓良伟²

(1. 杭州能源环境工程设计所, 浙江 杭州 300020; 2. 农业部沼气科学研究所, 四川 成都 610041)

摘 要: 分析总结了杭州灯塔养殖总场沼气与废水处理工程的技术特点。该项目按照减量化、资源化、无害化的原则, 优化了猪粪污水处理工艺和设计技术参数, 解决了生物脱除氨氮的技术难题, 在工程设计与施工中采用具有国际先进水平的 Lipp 制罐技术, 提高项目的成套化和工程化水平。COD 总去除率达 98%, NH₃-N 去除率达 99% 以上, 出水 COD≤150 mg·L⁻¹, NH₃-N≤15 mg·L⁻¹, 出水达到《污水综合排放标准》的二级标准, 日产沼气 8 500 m³。

关键词: 养猪场; 废弃物; 污水处理; 示范工程

中图分类号: X703.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0267(2002)01-0029-04

Technical Characteristics of Biogas and Wastewater Treatment Project in Hangzhou Dengta Farm

SHOU Yi-feng¹, CAI Chang-da¹, LIN Wei-hua¹, CAI Lei¹, SHI Dong-wei¹, DENG Liang-wei²

(1. Hangzhou Designing Institute of Energy & Environment Engineering, 310020, Hangzhou Zhejiang, P. R. China;

2. Chengdu Research Institute of Biogas 610041, Chengdu Sichuan Province, P. R. China)

Abstract: A biogas and wastewater treatment project treating pig dung and wastewater efficiently according to the principals of discharge reduction, resource utilization and zero-pollution discharge, is described in the present investigation. The facility optimizes treatment process, design parameters, and solving technical problems of bio-deamination and bio-denitrification. In addition, an international advanced Lipp tank making technology is utilized in the project. Removal ratios for COD and NH₃-N reached to 98.5%, and 99%, respectively. The amounts of COD and NH₃-N in outlet were found to be 150 mg·L⁻¹ and below 15 mg·L⁻¹, respectively with the biogas production of 8 500 m³ per day, mainly using for boiler, canteen and drying organic composite. Thus, the final discharge water reached the second grade standard of National Integrating Standards of Wastewater Discharge. This project is the pilot plant of UNDP/GEF.

Keywords: pig farm; wastewater treatment; biogas; demonstration project

1 背景

杭州灯塔养殖总场位于杭州市下城区石桥乡, 紧靠运河水系的上塘河, 地处环境敏感区域。该场是一家目前国内最大的综合性养猪企业, 年出栏商品肉猪 20 万头, 生猪存栏 12 万头, 日排放 185 t 猪粪和 3000 t 污水。混合污水的 COD_{Cr} 浓度高达 17 000 mg·L⁻¹, SS 浓度 12 000 mg·L⁻¹, NH₃-N 浓度 2 200 mg·L⁻¹。日排放的 COD_{Cr} 量达到 51 t, 相当于一个 50—60 万人口的城市污水处理厂的 COD_{Cr} 负荷量,

是城乡结合部环境的一大污染源。该场被杭州市环保局列为三同时项目, 处理后的出水必须达到《污水综合排放标准》GB 8978-1996 的二级排放标准。

为了治理污染, 实现养殖场的可持续发展, 本所于 1999 年初开始承担和实施联合国开发计划署(UNDP)/全球环境基金(GEF)“加速中国可再生能源商业化能力建设项目”——杭州灯塔养殖总场沼气与废水处理工程项目的建设, 于 2000 年底完成了工程调试运行, 并通过验收。项目按照减量化、资源化、无害化处理废弃物的原则, 对猪粪污水进行综合治理及资源化利用, 在污水达标的前提下, 开发可再生能源——沼气, 回收有机肥资源, 来提高整个处理系统的收益率, 从而减轻环境污染治理给微利的养猪业带来的压力。

收稿日期: 2001-03-04

基金项目: 联合国开发计划署(UNDP)/全球环境基金(GEF)的示范工程

作者简介: 寿亦丰(1968—), 男, 杭州能源环境工程设计所高级工程师。

2 工艺流程

针对猪粪污水高浓度、高氨氮、高悬浮物的特点,在工艺设计中强化了预处理、厌氧消化和 SBR 生物脱氮等技术。工艺流程如下:

污水先进行固液分离,去除猪粪污水中的粪渣、残余饲料等悬浮固体,采用回转式格栅机和专用水力筛二道分离,分离出的粪渣用于制作有机肥。

分离液流入水解酸化池,酸化水力停留时间为 8—12 h。再泵入厌氧罐,厌氧消化采用 UASB 工艺,采用 $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 常温发酵(冬季采用增温),水力停留时间为 3 d,厌氧出水的 COD_{Cr} 在 $1\,000\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右。

厌氧出水和稀废水混合配水,调节 BOD/COD,提高厌氧出水的可生化性,再流入好氧 SBR 池,进一步去除 COD 和 $\text{NH}_3\text{-N}$,SBR 水力停留时间为 3 d,出水氨氮小于 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,COD 还有 200—300 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$,再经加药混凝沉淀后达标排放。

厌氧罐产生的沼气经过气水分离、脱硫、计量后输入干式贮气柜,再用气泵输送到各用户,主要用于烧锅炉、发电、有机肥烘干和食堂炊事。

厌氧、好氧和沉淀污泥经浓缩,带式脱水机脱水,压滤成含水率为 75%—80% 的泥饼,用于制作有机肥或作为菌种出售。

3 主要工艺单元的技术特点

3.1 实行清洁生产、改进饲养工艺

实行清洁生产,将猪粪和污水分开收集。改猪舍水冲式清粪方式为人工清粪为主、水冲为辅的清粪方式,从源头减少污染物的排放。实行清洁生产前后的水质变化见图 1。

实行清洁生产可使污水浓度大幅度降低,减少污水处理的技术难度;可减少工程投资、运行费用;可减少猪舍的冲洗水量,节省水费;可提高资源化利用程度,新鲜猪粪生产的有机肥肥效高。

3.2 猪粪生物堆肥制作有机肥

为了有效地利用猪粪,配套建设了年产 4 万 t 复合有机商品肥的生物堆肥厂。采用生物发酵工程技术,以新鲜猪粪为原料,加入含有多种有效微生物菌群的菌剂或菌粉与畜禽粪便均匀混合,控制一定的温度和水分条件,创造一个良好的微生物正常繁殖的环境,加速有机物料分解,放出并聚集热量,提高物料温度,杀灭各种病原菌和寄生虫卵,去除臭味,富集养分,制成农用高效绿色生态型的有机生物肥料。其特点是:①克服了臭味浓、分解不完全的缺点;②可机械化连续生产;③发酵周期短一般为 15—20 d;④能量释放多,堆肥温度高达 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ — $90\text{ }^{\circ}\text{C}$,足以杀灭病原菌;⑤有机物总量 $\geq 35\%$,氮磷钾养分含量 $\geq 6\%$,水分 $\leq 18\%$ 。

3.3 物化吹脱除氨和 SBR 生物脱氨工艺进行的比较

猪粪污水氨氮的浓度高达 $500\text{—}1\,200\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,是污水处理的难点,氨氮不降解 COD 也很难降解。因此在工艺设计中,我们对物化吹脱除氨工艺和 SBR 生物脱氨工艺进行了比较选择。经过了调研和模拟实验表明,物化吹脱除氨工艺存在以下问题:①物化吹脱除氨工艺需要调节污水的 pH 值,需用石灰将污水的 pH 值调至 11 进行吹脱,再用酸回调至 8.5,每处理 1 t 污水,脱氨运行费用需 5 元,运行费用高,养殖场难以承受;②每天产生大量的石灰湿渣和吹脱排放的氨气难以处理,将对环境产生二次污染问题。为了解决脱氨问题,我们进行为期 6 个多月的生物脱氨模拟试验,重点培养硝化细菌,采用黄酒废水的好氧污泥接种、驯化,取得了很好的脱氨和去除 COD 的效果。试验结果见表 1。

表 1 表明, SBR 对高浓度氨氮有很好的去除效果,氨氮去除率达到 95% 以上,正常出水氨氮基本上在 $25\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下,特别到运行 40 d 以后,出水氨氮在 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下。同时,对 COD 的去除也表现良好,稳定在 88%—95%,出水 COD 在 142—300 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间。生物脱氨的优点有:①不增加处理单元,工程投资少;②运行时不需加碱;③没有二次污染。

3.4 SBR 反应器

SBR 反应器设 4 个,每个有效容积为 $1\,500\text{ m}^3$ 。采用 8 h 一个周期,进水 1 h、搅拌、曝气 4 h、沉淀 1 h、排水 1 h。运行工况采用 PLC 控制。污泥负荷为 $0.05\text{—}0.15\text{ kgBOD}_5\cdot\text{kg}^{-1}\text{MLSS}\cdot\text{d}^{-1}$ 。容积负荷为 $0.2\text{—}0.5\text{ kgBOD}_5\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ 。采用不易堵塞、寿命长的不锈钢条状曝气头,采用高速离心鼓风机供气。滗水选用旋转式滗水器,这种滗水器的出水堰可随水位变化而升

图 1 清洁生产前后的水质变化

Figure1 Variation of wastewater before and after clean production

表 1 SBR 对猪粪污水的去除效果						
Table 1 Removal efficacy of wastewater from pig farm by SBR						
日期	COD _{Cr} /mg·L ⁻¹			NH ₃ -N/mg·L ⁻¹		
	进水	出水	去除率/%	进水	出水	去除率/%
2000-02-25	2 101	142	93.2	935	89	90.5
2000-02-27	3 417	293	91.4	861	169	80.4
2000-02-29	2 050	351	82.9	726	166	77.1
2000-03-01	3 063	380	87.6	806	142	82.4
2000-03-03	3 277	341	89.6	811	107	86.8
2000-03-05	3 280	557	83.0	749	78	89.6
2000-03-07	3 332	542	83.7	781	70	91.0
2000-03-09	1 489	498	66.6	695	64	90.8
2000-03-11	3 672	502	86.3	455	12	97.4
2000-03-13	1 521	548	64.0	570	20	96.5
2000-03-15	1 852	568	69.3	468	25	94.6
2000-03-17	2 234	603	73.0	675	32	95.2
2000-03-19	5 593	481	91.4	751	67	91.0
2000-03-21	2 861	452	84.2	656	34	94.8
2000-03-23	2 831	351	87.6	764	22	97.1
2000-03-25	3 277	341	89.6	692	0.0	100
2000-03-27	3 815	557	85.4	682	5.0	99.2
2000-03-29	4 554	542	88.1	934	4.0	99.6
2000-04-05	4 201	458	89.1	760	6.0	99.2
2000-04-07	3 897	569	85.4	760	2.0	99.7
2000-04-11	3 201	445	86.1	791	5.0	99.4

降,排水时不会扰动池中各水层和污泥,使排出的是真正的上清液。

4 Lipp 制罐技术的应用

4.1 Lipp 制罐技术的特点

表 2 Lipp 式工艺装置一览表
Table 2 A list of equipments used in Lipp technology

序号	罐体名称	单罐容积/m ³	数量/座	几何尺寸/m	罐体材料	制作工期
1	SBR 池	1 885	4	φ20×6.0	不锈钢复合钢板	7 d×4
2	贮气柜(干式)	1 000	1	φ12×12	高强度镀锌钢板	20 d
3	中心传动污泥浓缩池	900	1	φ16×4.5	不锈钢复合钢板	3 d
4	出水池	600	1	φ16×3	不锈钢复合钢板	3 d

5 沼气的利用

本工程日产沼气 8 500 m³,经气水分离、脱硫、计量后输入 1 000 m³ 干式贮气柜,沼气流量采用涡街流量计在线测定,信号发送到中央控制室,沼气的用德国进口 SKG-334 型防爆气泵输送到各用户。目前沼气主要用于 4 方面:沼气锅炉(67%),肥料烘干(24%)、食堂炊事(3%)和猪舍生产用能(6%)。沼气锅炉型号为 WN2-1.0-Q,采用英国进口燃烧器,锅炉热效率为 87%—92%,蒸气用于甲鱼温室加温和冬季厌

在本工程的设计施工中,采用了本所的科研新成果——国产化 Lipp 螺旋制罐技术。该技术应用金属塑性加工中的加工硬化原理和薄壳原理,通过专用技术和设备将 2—4 mm 厚的不锈钢复合板(或高强度镀锌钢板),采用“螺旋、双折边、咬口”工艺来建造圆型池和罐体,Lipp 罐壁咬和筋的成型过程见图 2。由于是机械化、自动化制作和采用薄钢板作为建筑材料,因此 Lipp 制罐技术具有施工周期短、造价低、质量好等优点,其施工周期比传统施工方式缩短 60% 以上,与传统的钢结构罐相比,节约钢材 40% 以上,工程造价比钢筋混凝土池低 10% 左右。

图 2 Lipp 罐壁咬和筋的成型过程
Figure 2 The process of construction of Lipp tank

4.2 Lipp 式工艺装置

根据 Lipp 制罐技术的特点,设计了 Lipp 罐结构 SBR 池、干式贮气柜、污泥浓缩池、出水池等,工程应用情况见表 2。

氧系统的增温。

6 工程的调试运行

6.1 厌氧系统调试及运行结果

本工程厌氧系统从 2000 年 6 月初开始启动。接种污泥采用老灯塔沼气工程厌氧污泥,数量 200 m³。负荷逐步增加,经过 3 个月的调试,COD 去除率均在 85% 左右。尽管进水 COD 波动很大,周平均值低至 4 300 mg·L⁻¹,高达 18 000 mg·L⁻¹,稳定运行期间出水 COD 基本上在 750—1 500 mg·L⁻¹ 之间。

厌氧系统稳定运行后开始记录沼气产量, 在 8—11 月沼气产量较高, 在 8 000—9 000 m³ 之间。到冬季厌氧池温度仅 15 ℃—20 ℃。产气量只有 5 000—6 500 m³。

6.2 好氧系统的调试及运行结果

好氧系统从 7 月底开始启动调试。接种污泥为城市污水厂活性污泥以及啤酒厂的好氧污泥, 接种量 55 t 脱水污泥。启动初期,SBR 池每天进水 540 m³, 根据 NH₃ - N 和 COD 的去除情况, 逐渐增加处理水量。经过 2 个月的调试,SBR 系统进入正常运行,COD 去除率达到 90% 以上, 出水 COD 达到 250—350 mg · L⁻¹, NH₃ - N 去除率达到 99% (见图 3), 出水 NH₃ - N <10 mg · L⁻¹。尽管冬季气温只有 10℃—15 ℃, SBR 对 COD、NH₃ - N 的去除仍能达到非常好的去除效果。

6.3 处理系统对猪场污水总的去除效果

图 3 SBR 对 NH₃ - N 去除情况

Figure 3 Removal efficacy of NH₃ - N by SBR

在系统稳定运行期间,处理工程对污染物总的去除效果见表 3。从表 3 可知,本处理工程对 COD 的去除率达到 98% 以上, BOD₅、NH₃ - N 的去除率达到 99% 以上, SS 去除率达到 97% 以上, TN 去除率达到 93% 以上。出水达到《污水综合排放标准》(GB 8978 - 1996)二级标准。

表 3 处理工程对污染物总的去除效果(2000 年 9 月—2001 年 1 月)

Table 3 Total removal ratio of pollutants in the project

项目	进水	厌氧处理	SBR	混凝处理	总去除率/%
COD/mg · L ⁻¹	5 616—9 965	879—1 423	179—321	97—130	> 98
BOD ₅ /mg · L ⁻¹	3 960—4 460	168—278	11. 2—19. 9		> 99
NH ₃ - N/mg · L ⁻¹	636—1 114	690—1 210	3. 5—6. 3		> 99
TN/mg · L ⁻¹	754—1415	590—917	51. 8—51. 9		> 93
SS/mg · L ⁻¹	2 310—5 410	510—960	70—110	60—90	> 97
pH	7. 1—7. 5	7. 2—7. 5	6. 6—7. 5	8. 5—8. 9	

7 项目技术经济指标

年消减 COD: 18450 t · 年⁻¹;沼气产量:310 万 m³ · 年⁻¹;温室气体甲烷的减排:202 万 m³ · 年⁻¹(相当于减排二氧化碳 6. 6 万 t); 有机商品肥: 4 万 t · 年⁻¹; 处理运行费用: 2. 5 元 · t⁻¹ 污水; 工程总投资: 1 497 万元;投资回收期:9. 5 年。

参考文献:

[1] 张忠祥, 钱 易. 城市可持续发展与水污染防治对策[M]. 北京: 中国建筑工业出版社,1998.

[2] 华南农业大学, 香港猪会. 规模化猪场用水与废水处理技术[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999.

[3] 贺延龄. 废水的厌氧生物处理[M]. 北京:中国轻工业出版社, 1998.

[4] 朱有为, 等. 浙江省畜牧业发展的生态环境问题及其控制对策[J]. 环境污染与防治, 1998, (1).

[5] 董克虞. 畜禽粪便对环境的污染及资源化途径[J]. 农业环境保护, 1998, 17(6): 281 - 283.