

# 生产规模净化沼气池处理公厕污水的研究

邓良伟 唐一

农业部沼气科学研究所，成都，610041

黄品武

四川资中能源环境工程公司，四川资中，641200

**摘要** 采用净化沼气池处理公厕污水(10m<sup>3</sup>/d)，设计池容 44.3 m<sup>3</sup>，水力停留时间(HRT)4天，容积负荷：0.25~0.40m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.d。经过3个月的启动，系统稳定运行，2年的监测结果表明：净化沼气池能削减绝大部分有机污染物、寄生虫卵和病原菌。COD去除87%，BOD<sub>5</sub>去除66%左右，寄生虫卵沉降91.3%，大肠菌群去除99%。污染物主要在沉淀发酵池去除。净化沼气池容积产气率0.05~0.15m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.d，沼气产量2~6m<sup>3</sup>/d左右。与污水集中处理厂相比，净化沼气池在运行费用、运行管理、占地、能耗方面具有优势，而在处理效果、投资方面不及污水集中处理厂。

**关键词** 净化沼气池，公厕，污水处理

八十年代以前，城镇居民的粪尿主要靠农民进城清运作农肥。随着农村生产体制的变革，以及简单高效化肥的大量施用，农民不再进城清运粪肥，从而城镇粪肥无人清运，致使粪尿污水外溢，严重影响城镇卫生，污染城镇环境。新建房屋虽然建有化粪池，但容积偏小，粪污只短暂停留即排出，不能达到卫生处理的要求，COD去除率仅20~40%，并且需要经常清掏污泥。由于清掏费用的原因，实际上很少清掏，造成污泥淤积，化粪池不能起到初步净化的作用。

在发达国家，通常是将粪便与洗涤生活污水一起排入城市污水集中处理厂集中处理。但是，建造污水集中处理厂投资大，运行费用高，运行管理复杂，发展中国家的中小城镇暂时没有能力建造城市污水集中处理厂。这就有必要开发一种费用低廉、管理简单的粪便污水处理系统解决当务之急。

80年代，为了治理城粪污染，保护环境，改善卫生状况，开辟城市能源，我国的沼气环保科研与推广部门便着手研究和利用厌氧消化技术分散处理城镇粪便污水，在农村沼气池和化粪池的基础上开发了生活污水净化沼气池，并且在中国南方地区和其它发展中国家得到了广泛的推广和应用。然而从技术上来说，对系统的工艺设计、运行调控还没有比较系统的研究，已有的研究基本上是实验室规模的试验。为此，我们选择了有代表性的公厕进行净化沼气池处理公厕污水的工程示范，研究净化沼气池对粪便污水污染物的去除效果以及能源回收情况，并进行相应的技术经济分析，以期净化沼气池的设计、运行管理和决策部门制订政策提供依据。

## 1 示范工程概况

示范工程位于四川省资中县城孝子街，该公厕为四层结构，第一层和第二层为公用厕所，三、四层为综合用房。第一、第二层均设男、女蹲位各5个。

处理系统设计参照赵锡惠(1996)，设计参数如下：

设计使用厕所人数每日200人次，每人每次污水量为50升，则每天排放的污水量约10m<sup>3</sup>/d。

进水COD 1000~1600mg/L，BOD<sub>5</sub> 550~800mg/L，SS 500~700mg/L

设计池容44.3 m<sup>3</sup>，水力停留时间(HRT)4天，容积负荷：0.25~0.40m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.d；

池内温度：15~25℃；

公厕净化沼气池工程建设总体概况见表1。

表1 处理公厕净化沼气池工程概况

服务人口	污水量(m <sup>3</sup> /d)	净化沼气池总池容(m <sup>3</sup> )	水力停留时间(d)	总投资(元)
200人.次/日	10	44.3	4.0	29068

## 2 工艺流程及说明

净化沼气池工艺流程如图:

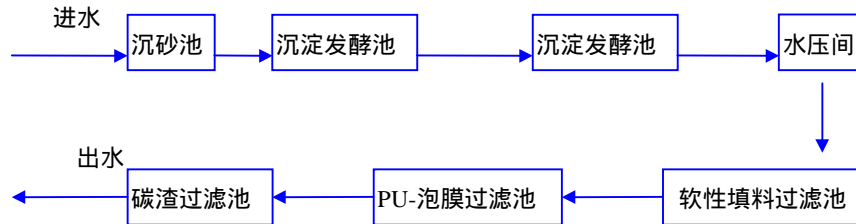


图1 净化沼气池处理公厕污水工艺流程图

净化沼气池处理系统分为三大功能区，共七级。

第一功能区为沉砂区，有一级沉砂池，池容 3.14m<sup>3</sup>。沉砂池的主要作用在于去除进水中的无机悬浮物质，如：泥、砂等。

第二功能区为沉淀发酵区，有二级沉淀发酵池。一级沉淀发酵池池形为圆形，池容 9.77m<sup>3</sup>，占总容积的 21.9%。第二级沉淀发酵池仍为圆形池，池容 10.83 m<sup>3</sup>，占总池容的 24.3%。沉淀发酵区的作用是沉淀不溶性有机物和无机物，去除附着于不溶固体上的寄生虫卵、病原菌等，同时发酵分解不溶性有机物，减少污泥的积累。

第二功能区容积 25.54m<sup>3</sup>，占总容积的 55%。为了便于沼气的利用，在两级发酵池后设有一个水压间，池容 3.94 m<sup>3</sup>，占总池容的 8.8%。

第三功能区为过滤区，有三级过滤。本区的主要功能是利用填料固着微生物，降解废水中有机物，同时通过拦截去除水中残余的悬浮物、寄生虫卵以及病原菌。

第一级过滤池为软性填料过滤，池容 5.64 m<sup>3</sup>，其内装有 D<sub>2</sub>型软性填料，填料区深度为 1m。

第二级过滤池为聚氨酯(PU)泡膜过滤池，池容 5.64 m<sup>3</sup>，过滤面积 0.44 m<sup>2</sup>，平均过滤速度为 0.95m/h，最大过滤速度为 2.84m/h。

第三级过滤池为碳渣过滤池，池容 5.64 m<sup>3</sup>，滤料为碳渣，滤床深度约 1m，过滤面积 0.44m<sup>2</sup>，平均过滤速度为 0.95m/h，最大过滤速度 2.84m/h。

## 3 示范工程启动运行

为了加快净化沼气池的启动，该工程进行了污泥接种。用其它净化沼气池的沼液 300kg 及沼渣 50kg 作该装置的启动污泥，接种启动 7 天后，净化沼气池正常产气。

在运行的前三个月，每周对处理效果进行监测，第四个月至第十三个月，每月监测一次，从第十四月起，每三个月监测一次。监测项目有：pH、COD、BOD<sub>5</sub>、K-N、粪大肠菌值和寄生虫卵等，分析方法参照《水和废水分析方法》(第 15 版)。

## 4 结果与讨论

### 4.1 粪大肠菌及寄生虫卵的去除

表 2. 净化沼气池对公厕污水粪大肠菌及寄生虫卵的去除效果

取样时间	监测项目	进水	水压间	软填料池	PU 泡膜池	出水	去除率 (%)
1996, 7, 16	粪大肠菌值	$4 \times 10^{-6}$				$1.1 \times 10^{-4}$	99
	寄生虫卵(个/L)	320				28	91.3
1997, 5, 4	粪大肠菌值	$4 \times 10^{-6}$	$5.6 \times 10^{-5}$	$4.3 \times 10^{-5}$	$1.1 \times 10^{-5}$	$5.6 \times 10^{-4}$	99

从表 2 可知, 粪大肠菌去除率 99%, 出水达到 GB7959《粪便无害化标准》。寄生虫卵沉降率 91.3%, 出水寄生虫卵 28 个/升, 未达到排放标准。根据我们以前的研究(赵锡惠, 1996; 邓良伟, 1997), 净化沼气池对寄生虫卵有很好的去除效果。因为只有一次监测, 不太具有代表性。

### 4.2 悬浮物去除情况

从图 2 可以看出, 悬浮物(SS)进水浓度很低, 仅 44~68mg/L, 通常粪便污水中的悬浮物在几百到几千 mg/L 之间。可能是采样误差导致测出的悬浮物浓度偏低。出水浓度在 19~37mg/L 之间, 达到 GB8978-1996《污水综合排放标准》规定的 70mg/L。按监测数据 SS 去除率在 24%~62%之间, 实际去除率应该高于测试值。系统运行前期, 去除率保持在 25%左右, 随着系统的运行, 去除率增加到 50%左右, 并趋于稳定。

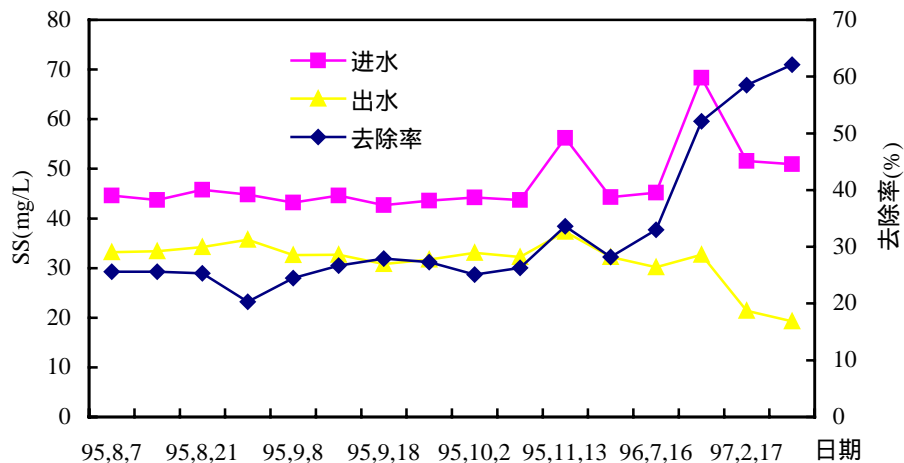


图 2. 悬浮物去除

### 4.3 COD 去除

由于采集的进水水样悬浮物偏低，相应地测得的 COD 也偏低，从图 3 可以看出，COD 进水浓度在 1300~1800mg/L 之间，基本上是溶解性 COD。在系统开始运行前三个月，出水浓度 390mg/L 左右，去除率在 70% 上下。运行三个月以后，出水浓度稳定在 250mg/L 左右，去除率 87% 左右，并且不受季节变化的影响，说明系统经过三个月的运行，启动成功，进入稳定运行状态。整个系统对有机污染物有较好的去除，COD 去除率保持在 87% 左右，由于监测误差的

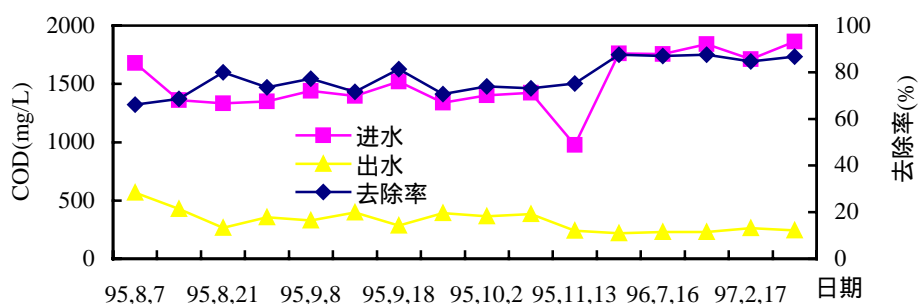


图 3. COD 去除

原因，实际去除率应该更高。出水 COD 浓度仍然较高，未达到 GB8978-1996《污水综合排放标准》。

### 4.4 BOD<sub>5</sub> 的去除

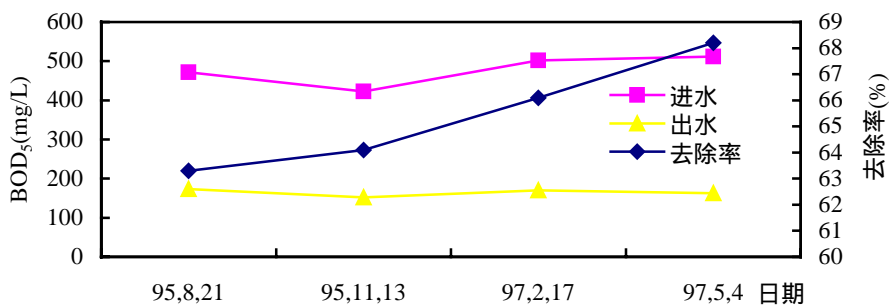


图 4 BOD<sub>5</sub> 去除

从图 4 可知：该处理系统进水 BOD<sub>5</sub> 在 423~512mg/L 之间，出水 BOD<sub>5</sub> 稳定在 150~170mg/L 之间，随着系统的运行，BOD<sub>5</sub> 去除率有增高的趋势，从 1995 年 8 月 21 日的 63.3% 上升到了 1997 年 5 月 4 日的 68.2%。尽管出水 BOD<sub>5</sub> 未达到国家排放标准，但是大大削减了有机污染物。

#### 4.5 K-N 去除

图 5 显示出：进出水 K-N 浓度相差不大，去除率仅 10%左右，说明该系统对 K-N 去除效果不理想。

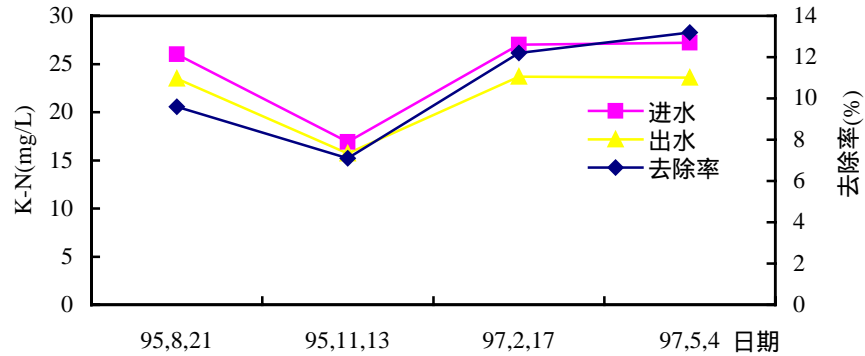


图 5 K-N 去除

#### 4.6 各处理单元对污染物去除情况

将系统稳定运行后各处理单元的监测值平均，结果作于图 6，图中显示了 SS

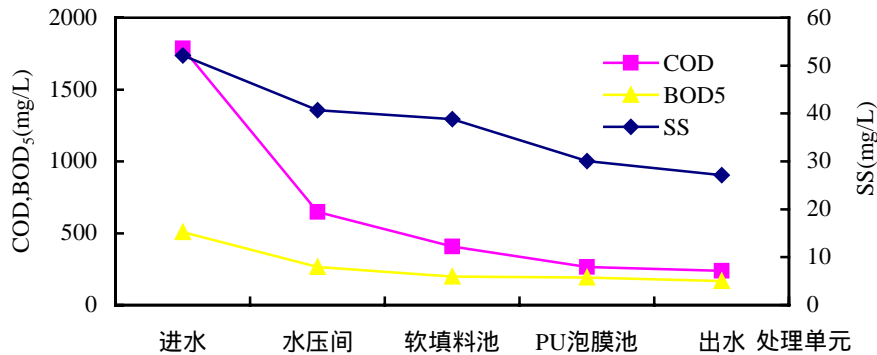


图 6. 各处理单元对污染物的去除

去除曲线在进水 水压间，软填料池 PU 泡膜滤池段下降明显，说明悬浮物主要在这两段去除。这是因为在进水 水压间段，废水经过了一级沉砂，两级沉淀发酵池，均对悬浮物有很好的去除；而在软填料池 PU 泡膜滤池这段，污水经过了对悬浮物有很好拦截作用的 PU 泡膜。COD 去除在进水 水压间段急剧下降，后面几段下降逐渐减缓，特别是 PU 泡膜滤池 出水段，说明 COD 去除主要在沉淀发酵、软填料滤池、PU 泡膜滤池，其中沉淀发酵池最为明显，去除了 64.3%，占总去除的 73.5%。碳渣滤池对 COD 去除贡献很小。BOD<sub>5</sub> 去除曲线在进水 水压间段下降显著，后面几段较为平缓，BOD<sub>5</sub> 去除主要发生在沉淀发酵池，去除 47.7%，占总去除的 71.2%。

#### 4.7 进水量及产气情况

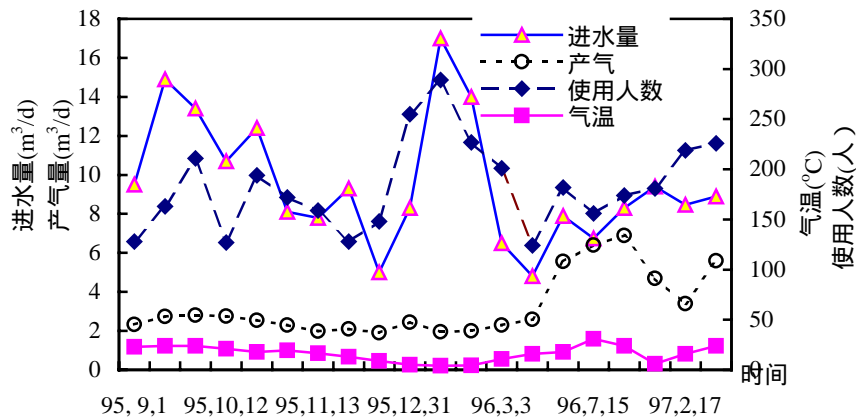


图7 进水水量以及产气量变化

从图7可以看出，公厕的使用人数在180人/天上下波动，净化沼气池进水量在10m<sup>3</sup>/天上下波动，并且随厕所使用人数的增(减)而增(减)。净化沼气池在冬季每天能产沼气2m<sup>3</sup>左右，容积产气率0.05m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.d左右。夏季产气5~6m<sup>3</sup>，容积产气率0.15m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.d左右。冬季可供一户人煮饭使用，夏季可供两户人煮饭使用。产气量随气温的增加而增加，产气变化与气温变化有很好的一致性，与公厕使用人数、进水量变化的关系不大，说明温度影响净化沼气池产气的主要因素，并且第二年的产气量高于第一年同期产气量。

### 5 处理系统经济技术分析

公厕污水净化沼气池系统能削减绝大部分有机污染物，寄生虫卵和病原菌，COD去除87%，BOD<sub>5</sub>去除66%左右，大肠菌群去除99%，寄生虫卵沉降91.3%。因此，该处理系统对改善卫生状况，减轻水环境污染效果明显。与污水集中相比，净化沼气池具有以下优点：

表3. 经济技术分析

处理方式	基建投资 (元/m <sup>3</sup> )	运行费用 (元/m <sup>3</sup> )	能耗 (度/m <sup>3</sup> )	占地 (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	COD去除率 (%)	出水 COD(mg/L)
集中处理	1500	0.30	0.30	0.5-1.0	>90	<100
沼气净化池	2907	0.05	无	基本不占地	87	220--263

- 该处理系统的基建投资由排污单位自行解决，投资分散，资金容易筹集，不需政府拨款，减轻了财政压力，可操作性强。
- 运行费用极低。系统建成以后，不需专人管理；采用自流式，无需动力，不耗能，只需两年一次的残渣清掏和水质例行监测工作，运行费用大约0.05元/m<sup>3</sup>，而常规污水集中处理厂运行费用达0.30元/m<sup>3</sup>，电耗0.30度/m<sup>3</sup>。

- 整个系统建于地下，不占地，集中处理厂处理 1m<sup>3</sup>水需占地 0.5~1.0m<sup>2</sup>。
- 可回收能源 CH<sub>4</sub>。
- 就近处理，不需排水管网系统。
- 污泥少，只有活性污泥法的 1/8--1/3。  
但是，处理系统也存在一些问题：
- 基建投资较大，该处理系统处理 1m<sup>3</sup>污水需投资 2907 元；而集中处理厂投资仅 1500 元/m<sup>3</sup>左右，因此该处理系统社会总投入高，从社会总体看不经济。
- 出水污染物浓度较高，COD、BOD<sub>5</sub>、寄生虫卵没有达到国家排放标准，而且离标准差距还很大。
- 水质监测工作量大，费用较高。

## 参考文献

- 1 . 美国公共健康学会. 水和废水标准分析方法, 第 15 版, 华盛顿, 1985
- 2 . 邓良伟, 王蓓, 唐一. 低维持废水处理系统处理生活污水的工程示范与探讨. 环境保护, 1997, 6: 15-17
- 3 . Gray N F. Biology of wastewater treatment. Oxford Science Publication, 1989.
- 4 . 史家梁. 日本粪便污水的处理和处置. 上海环境科学, 1989, 8(4): 37-38, 17
- 5 . 中华人民共和国标准, 《污水综合排放标准》GB8978-1996
- 6 . 中华人民共和国标准, 《粪便无害化标准》GB7959--87
- 7 . 肖骧. 厌氧消化在城市生活污水处理中的应用及技术经济指标研究. 四川环境, 1994, 13(2): 43-51
- 8 . 杨永泰, 麦洁华, 程金沐. 城市污水净化的环境效益与环境影响分析. 重庆环境科学, 1995, 17(2): 18-22
- 9 . 赵锡惠, 曾华梁, 田洪春. 六类建筑物净化沼气池设计和卫生效果研究报告. 中国沼气, 14(4): 25-28