

# 风、光电能驱动处理化粪池污水的设备研发

胡孟春

(环境保护部南京环境科学研究所, 江苏 南京 210042)

**摘要:** 以“减量化、再利用、资源化”的循环经济思想为指导,面向分散型社区、村镇,研发出以风、光电能为动力,集生物接触氧化、超滤膜、纳滤膜为一体的化粪池污水处理技术设备,该设备主要由风与光互补发电系统、前处理系统、处理系统组成。处理系统为两级处理,第一级是外置式MBR,由曝气罐和两支超滤膜柱组成,第二级进行纳滤膜深度处理,处理能力为 $15\text{ m}^3/\text{d}$ 。根据技术设备运行动能测定与水质检测数据,进行了污水处理过程能量代谢、物质代谢分析。化粪池污水通过能量、物质代谢转化为有机肥水与洁净水。根据能量代谢、物质代谢分析结果,进行了污水处理过程生命周期评价。该设备处理化粪池污水的资源化率为99.75%、排放率为0.401%、能效系数为 $1.80\text{ m}^3/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 、产品水价值为38.31元/d。研发的技术设备为分散社区、村镇的化粪池污水生态化处理开辟了新的技术途径。

**关键词:** 化粪池污水; 风、光电能; 资源化; 零排放

**中图分类号:** X703      **文献标识码:** C      **文章编号:** 1000-4602(2017)03-0093-04

## Research and Development of Wind and Solar Energy-driven Equipment for Treatment of Septic Tank Effluent

HU Meng-chun

(Nanjing Institute of Environmental Science, MEP, Nanjing 210042, China)

**Abstract:** Guided by the idea of recycled economy characterized by reduction, reutilization and recycling, towards scattered communities and villages, the septic tank effluent treatment equipment powered by wind and solar energy and integrating biological contact oxidation, ultrafiltration membrane and nanofiltration membrane was developed. The equipment consists of three parts: wind and solar supplementary power generation system, pretreatment system and treatment system. For the two-stage treatment system with a capacity of  $15\text{ m}^3/\text{d}$ , the primary treatment system is external membrane bioreactor (MBR) comprising aeration tank and two ultrafiltration membrane columns, and the secondary one is advanced treatment by nanofiltration membrane. Based on the measurement of operating power of the equipment as well as the test data of water quality, analysis on energy metabolism and material metabolism during effluent treatment was conducted. Septic tank effluent was converted into organic fertilizer water and clean water via energy and material metabolism. According to the results of analysis on energy and material metabolism, the life cycle of effluent treatment process was assessed. After septic tank effluent was treated by the above equipment, the recycling rate was 99.75%, discharge rate was 0.401% and energy efficiency coefficient was  $1.80\text{ m}^3/(\text{kW}\cdot\text{h})$ , and product water value was 38.31 Yuan/d. The developed equip-

ment has opened a new technical approach for ecological treatment of septic tank effluent in scattered communities and villages.

**Key words:** septic tank effluent; wind and solar energy; recycling; zero discharge

我国城镇与农村生活污水大部分是直接排放,严重影响城镇与农村生态环境以及人民群众的生活质量。我国风、光资源非常丰富,如何利用风、光清洁能源,解决分散型社区、村镇污水处理问题,实现资源化利用、零排放,对于城镇、农村的生态文明建设具有重要意义。

## 1 化粪池污水处理技术设备结构

### 1.1 处理工艺生态设计思想及结构

针对分散型社区、村镇点多面广,集中式污水处理厂管网难以到达的现状,化粪池污水处理技术工艺的设计思想如下:以“减量化、再利用、资源化”思想为指导,以清洁能源为动力,将生物接触氧化、超滤膜、纳滤膜相结合,组成两段一级处理系统,将化粪池污水全资源化利用,实现零排放。化粪池污水处理技术设备结构见图1。

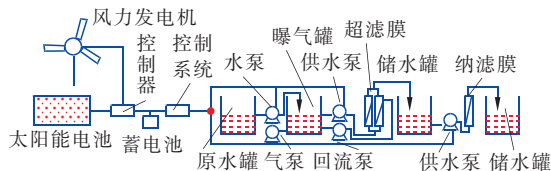


图1 化粪池污水处理技术设备结构

Fig.1 Structure of septic tank effluent treatment equipment

技术设备由三部分组成:风与光互补发电系统、前处理系统、处理系统。

风、光互补发电系统包括风力发电机、太阳能电池、控制器、蓄电池。风力发电机功率为300 W。光伏发电系统配置:太阳能电池4块、蓄电池4个、控制器2个。根据负载,风、光发电系统设计总功率为1 224 W。采用自控开关控制电能输出<sup>[1,2]</sup>。风、光互补发电系统可保障阴雨天处理系统也能正常运行。

前处理系统包括前置过滤、生物滤池。前置过滤采用尼龙丝过滤袋过滤。生物滤池由水箱、气泵、陶粒滤料组成。

处理系统设计为两级处理,第一级是外置式MBR,由曝气罐和两支超滤膜柱组成,曝气罐采用生物接触氧化工艺,生物接触氧化处理出水再经过超滤膜物理过滤处理。第二级进行纳滤膜深度处

理<sup>[3]</sup>。

化粪池污水处理技术设备的处理能力为15 m<sup>3</sup>/d。按照生活污水排污系数为44 L/(d·人),则该设备可以处理60户生活污水。

### 1.2 运行控制

化粪池污水处理技术设备采用微型一体式可编程控制器(PLC)自动控制。采集工艺流程中的传感器信号(水位、压力、流量),进行停、开、延时控制。

## 2 化粪池污水处理过程代谢分析

生产代谢分析是以环境为目标,以质量守恒定律为基础,以系统分析为基本方法,分析生产过程中物质、能量的流向与转化,对排放物作出总体评价<sup>[4,5]</sup>。

如图1所示,化粪池污水处理系统的能量、物质代谢过程,是将太阳能、风能通过风与光伏发电系统转化为电能,通过处理系统将电能转化为机械能,利用压力泵高压水经过膜处理系统,将污水转化为可利用资源,是利用清洁能源进行生态化生产的过程。

化粪池污水处理过程代谢分析步骤:首先对不同处理阶段的水质进行检测,对不同处理阶段的动能进行测定,在此基础上进行能量代谢与物质代谢分析。

### 2.1 化粪池污水处理过程水质检测

分别对化粪池原水、MBR一级处理出水、纳滤膜二级处理出水采样检测,结果如下:化粪池原水COD为507 mg/L、BOD为174 mg/L、SS为23 mg/L、动植物油含量为0.1 mg/L、石油类含量为1.7 mg/L、阴离子表面活性剂含量为2.96 mg/L、TN为144 mg/L、氨氮为31.6 mg/L、TP为9.28 mg/L、色度为4倍、pH值为7.89、粪大肠菌群为7.9 × 10<sup>6</sup>个/L;MBR出水COD为81 mg/L、BOD为13.5 mg/L、SS为13 mg/L、动植物油含量为0.1 mg/L、石油类含量为0.5 mg/L、阴离子表面活性剂含量为0.21 mg/L、TN为136 mg/L、氨氮为13.4 mg/L、TP为8.15 mg/L、色度为2倍、pH值为7.49、粪大肠菌群为200个/L;纳滤膜二级处理出水中总大肠菌群、耐热大肠菌群、大肠埃希氏菌均未检出,菌落总数 < 1 CFU/mL,砷 < 0.001 mg/L,镉 < 0.001 mg/L,六价

铬  $< 0.004 \text{ mg/L}$ , 铅  $< 0.005 \text{ mg/L}$ , 汞  $< 0.0001 \text{ mg/L}$ , 硒  $< 0.001 \text{ mg/L}$ , 氰化物  $< 0.002 \text{ mg/L}$ , 氟化物为  $0.68 \text{ mg/L}$ , 硝酸盐为  $2.53 \text{ mg/L}$ , 三氯甲烷为  $0.0012 \text{ mg/L}$ , 四氯化碳为  $0.00054 \text{ mg/L}$ , 色度  $< 5$  倍, 浊度  $< 0.5 \text{ NTU}$ , 无臭和味, 无肉眼可见物, pH 值为 8.5, 铝  $< 0.02 \text{ mg/L}$ , 铁  $< 0.002 \text{ mg/L}$ , 锰为  $0.018 \text{ mg/L}$ , 铜为  $0.022 \text{ mg/L}$ , 锌为  $0.011 \text{ mg/L}$ , 氯化物为  $123 \text{ mg/L}$ , 硫酸盐为  $0.32 \text{ mg/L}$ , 溶解性总固体为  $346 \text{ mg/L}$ , 总硬度(以  $\text{CaCO}_3$  计)为  $132 \text{ mg/L}$ ,  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  为  $3.0 \text{ mg/L}$ , 挥发酚类(以苯酚计)为  $0.002 \text{ mg/L}$ , 阴离子合成洗涤剂为  $0.03 \text{ mg/L}$ , 氨氮  $< 0.02 \text{ mg/L}$ , 总  $\alpha$  放射性为  $0.07 \text{ Bq/L}$ , 总  $\beta$  放射性为  $0.01 \text{ Bq/L}$ 。

从不同处理阶段水质检测数据可以看出, 化粪池原水经过 MBR 一级处理, 粪大肠菌群由  $7.9 \times 10^6$  个/L 降到 200 个/L, TN 由  $144 \text{ mg/L}$  降到  $136 \text{ mg/L}$ , 保留了原水中 94.4% 的 TN, TP 由  $9.28 \text{ mg/L}$  下降到  $8.15 \text{ mg/L}$ , 保留了原水中 87.8% 的 TP, 化粪池污水成为干净的肥水。然后再经过纳滤膜二级处理, 出水水质达到《生活饮用水卫生标准》(GB 5749

—2006) 的要求, 成为洁净水<sup>[5]</sup>。

## 2.2 能量代谢分析

根据处理过程动能测定, 每日化粪池污水处理过程能量流向及转化如图 2 所示。在化粪池污水处理系统中: 每天光能、风能实际转化的电能为  $8.323 \text{ kW} \cdot \text{h}$ , 其中有  $5.16 \text{ kW} \cdot \text{h}$  用于 MBR 处理系统, 转化成  $18576 \text{ kJ}$  机械能; 另有  $1.08 \text{ kW} \cdot \text{h}$  电能用于纳滤膜处理系统, 转化成  $3888 \text{ kJ}$  机械能。

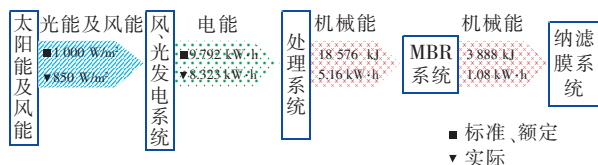


图2 能量流向及转化

Fig. 2 Energy flow and conversion

## 2.3 物质代谢分析

化粪池污水处理的物质代谢过程是指经过 MBR 一级处理及纳滤膜二级处理, 将化粪池污水转化为有机肥水及洁净水。根据水质检测结果, 选择水量、细菌、氨氮、COD、阴离子合成洗涤剂指标为代表, 每日的物质流向及各阶段转换量如表 1 所示。

表 1 化粪池污水处理的出水水质

Tab. 1 Quality of septic tank effluent after treatment

项 目	水量/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ )	细菌/ (个 $\cdot \text{L}^{-1}$ )	氨氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	总氮/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	总磷/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	COD/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	阴离子合成洗涤剂/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )
原水	15	$7.9 \times 10^6$	31.6	144	9.28	507	2.96
MBR 处理出水(肥水)	12.862	200	13.4	136	8.15	81	0.21
纳滤膜处理出水(洁净水)	2.138	$< 1$	0.02	—	—	3	0.03

能量代谢与相应的物质代谢分析, 揭示了产品水的产出是以清洁能源投入为前提, 以能量投入使水质提高。

## 3 化粪池污水处理生命周期评价

化粪池污水处理生命周期从化粪池污水进入处理系统开始, 到 MBR 处理系统有机肥水产出, 再到纳滤膜洁净水产出, 是能量与物质的转换过程。评价指标主要选取资源化率、排放率、能效转换率以及相应价值。采用矩阵法列表进行评价分析。

### 3.1 生命过程的排放率与资源化率

排放率是指在化粪池污水处理的代谢过程中产生的废弃物占总处理量的比例。资源化率则是指再生资源占总处理量的比例。

根据物质代谢分析结果计算得到, 在 MBR 处理阶段, 细菌、氨氮、COD、阴离子合成洗涤剂的排放率

分别为 0.0025%、42.41%、15.98%、7.09%; 纳滤膜处理阶段, 细菌、氨氮、COD、阴离子合成洗涤剂排放率分别为 0.0000126%、0.00316%、0.592%、1.01%, 平均为 0.401%, 近似达到零排放。在 MBR 处理阶段, 生产的产品水是干净的肥水, 资源化率为 85.6%; 在纳滤膜处理阶段, 产品水是洁净水, 资源化率为 14.15%。两种产品水资源化率总计为 99.75%。

### 3.2 生命过程的能效转换率

能效系数是指达到某一处理程度时单位电量处理的水量。计算公式为:

$$\eta = q/w \quad (1)$$

式中,  $\eta$  为能效系数,  $\text{m}^3/(\text{kW} \cdot \text{h})$ ;  $q$  为处理水量,  $\text{m}^3$ ;  $w$  为耗电量,  $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

根据能量流向转化图与物质流向转换图的数

据,不同处理阶段的能效系数计算结果如下:MBR处理阶段、纳滤膜处理阶段的处理水量分别为 $12.862$ 、 $2.138\text{ m}^3$ ,全过程处理水量为 $15\text{ m}^3$ ;MBR处理阶段、纳滤膜处理阶段的耗电量分别为 $5.16$ 、 $1.08\text{ kW}\cdot\text{h}$ ,全过程耗电量为 $8.323\text{ kW}\cdot\text{h}$ ;MBR处理阶段、纳滤膜处理阶段的能效系数分别为 $2.49$ 、 $1.98\text{ m}^3/(\text{kW}\cdot\text{h})$ ,全过程能效系数为 $1.80\text{ m}^3/(\text{kW}\cdot\text{h})$ 。

### 3.3 生命过程价值流分析

按照前面 MBR 处理阶段水质检测数据可知,有机肥水总养分含量为 $0.015\%$ ,而市场销售的有机肥总养分含量为 $5.0\%$ ,售价为 $800\text{ 元/t}$ 。按总养分含量比例推算,则生产的有机肥水价格为 $2.53\text{ 元/m}^3$ 。目前城市自来水价为 $2.7\text{ 元/m}^3$ ,城市污水处理厂处理费为 $0.7\text{ 元/m}^3$ 。按照价格参数,生命过程不同阶段产品水价值计算结果见表2。可以看出,如果每天有 $15\text{ m}^3$ 生活污水送至污水处理厂,则要支出 $10.5\text{ 元}$ ,转化为两种产品水,则增值 $38.31\text{ 元}$ 。

表2 生命过程不同阶段产品水价值

Tab.2 Product water value in different life processes

项 目	原水阶段	MBR 处理阶段	纳滤膜处理阶段
水量/ $\text{m}^3$	15	12.862	2.138
单价/ $(\text{元}\cdot\text{m}^{-3})$	0.7	2.53	2.7
价值/元	-10.5	32.54	5.77

化粪池污水处理生命周期综合评价表明,风、光电能驱动的社区、村镇化粪池污水处理技术设备,利用清洁能源进行清洁生产,具有全资源化、零排放的生态效果,具有高经济效益、低能耗特征,是环境友好型技术设备。

## 4 结论

① 以“减量化、资源化、再利用”思想为指导,针对分散社区、村镇生活污水不能进入污水管网集中处理的实际,研发出以风与光电能为动力,集生物接触氧化、超滤膜、纳滤膜为一体的化粪池污水处理技术设备。技术设备由三部分组成:风与光互补发

电系统、前处理系统、处理系统。处理能力为 $15\text{ m}^3/\text{d}$ ,可以处理60户生活污水。

② 在化粪池污水处理技术设备运行动能测定与水质检测基础上,进行了能量代谢、物质代谢、价值流分析,并进行了生命周期评价。生产的有机肥水与洁净水的资源化率为 $99.75\%$ ,排放率为 $0.401\%$ ,实现全资源化、零排放。资源化的产品水每日增值 $38.31\text{ 元}$ 。

### 参考文献:

- [1] 胡孟春,张永春,王文林,等. 瘦西湖风光电能驱动的曝气生物接触氧化水净化系统结构与功能[J]. 环境工程学报,2012,6(1):21-25.
- [2] 冯焱生. 太阳能发电原理与应用[M]. 北京:人民邮电出版社,2007.
- [3] 胡孟春,唐晓燕,沈海风,等. 反渗透膜在农村饮用水处理的应用[M]. 北京:中国环境科学出版社,2008.
- [4] 李素芹,苍大强,李宏. 工业生态学[M]. 北京:冶金工业出版社,2007.
- [5] 胡孟春. 利用太阳能化粪池污水深度净化达到饮用标准研究[J]. 环境科技,2012,25(2):24-26.



作者简介:胡孟春(1949—),男,陕西杨凌人,博士,研究员,近年主要从事水污染控制与水环境保护方面的研究。

E-mail: humch1949@aliyun.com

收稿日期:2016-07-12