

四种农村生活污水处理工艺比较

王云龙¹,张微晟¹,陶 琪¹,刘志刚²,马鲁铭²

(1.上海市南汇区环境规划,上海 201300; 2.同济大学环境科学与工程学院,上海 200092)

摘 要 农村生活污水污染问题日益严重,如何根据农村现状选择合适的处理技术显得尤为重要。通过比较上海南汇地区 4 种已经运行污水处理工艺的效果、管理、投资等,以期为类似地区农村生活污水处理工艺的选择提供参考。结果表明,一体化生物集成工艺可保障废水处理效果,而一体化集成工艺与人工湿地组合工艺则具有很强的耐冲击能力,处理效果稳定,两种方式都可以获得 75%以上 COD 和 BOD₅ 去除率,对氨氮去除率超过 70%,出水达到上海市污水综合排放标准(DB 31/199-2009)二级标准。农村生活污水治理应因地制宜采用不同的处理工艺,并尽可能集中建污水处理设施以降地建设成本和运行成本。

关键词 农村生活污水;工艺比较;一体化生物集成;人工湿地

中图分类号 X799.3

文献标识码 B

文章编号 1000-3770(2011)07-0133-004

随着我国农村生活水平的提高,农村的污染问题也逐渐凸现,成为我国建设新农村的制约因素之一。据统计,我国农村生活污染对整个流域污染物磷的贡献率达到 8%,对氮的贡献率达到 10%^[1]。受农村生活水平、生活习惯、环境等的影响,农村生活污水特性与城镇污水具有明显的差异,已有成熟城镇污水处理技术难以直接用于农村生活污水的处理,目前我国农村生活污水处理的研究起步较晚,缺少相关的污水处理政策和法规,并缺乏相关的设计规范和标准,因此如何根据农村实际情况选择合适的处理技术显得尤为重要。本文比较了上海南汇地区 4 种已经运行的污水处理工艺的效果、管理、投资等,以期为类似地区的农村生活污水处理工艺的选择提供依据,并为相关法规或标准的制定提供参考。

1 上海南汇地区农村生活污水特点

上海南汇地区(现为浦东新区)濒临东海,地势平坦,区域内河网密布。近几年地区经济发展较快,农村居民生活水平不断提高,人均用水量大幅上升,加上外来流动人口的增加,南汇地区农村生活污水排放总量持续增长。但南汇地区农村基础设施建设相对滞后,农村生活污水无序排放现象明显,已经严重影响到区域的水环境质量。根据实地调研,南汇地

区的农村用水主要为自来水、河水和井水,其中自来水作为饮用、沐浴、冲厕等水源,河水、井水则作为衣物洗涤、冲刷地面、饲养家禽等辅助用水,因此易于收集生活污水主要来自沐浴、厨房和卫生洁具的排水。南汇地区农村生活污水的特点如下:

(1) 污染源覆盖面广。由于南汇地区的城市化程度有限,大部分地区还是以农村为主,农村生活污水的产生源涉及了该地区的大部分地区。

(2) 污染源分散。南汇地区农村住宅建设缺乏整体的规划,自然村落布局零乱,住宅排污口分布散乱,大部分直接排放到附近的河网中。基本没有集中的市政收集管网。

(3) 日变化系数大。受农村生活习惯影响,南汇地区生活污水日变化系数一般在 3.0~5.0 之间,间歇性排放明显。

(4) 有机物、营养盐含量高。由于有些废水如衣物洗涤水等并不会全部进入农村住宅排污口,因此南汇地区农村污水有机物以及氮磷等浓度要高于一般城镇污水。

2 南汇地区 4 种农村生活污水处理工艺

2.1 工 艺

针对南汇地区农村生活污水分散的特点,考虑

收稿日期 2010-09-26

基金项目 国家科技支撑计划 村镇住宅污染物处置排放技术标准模式集成与示范研究(2008BAJ08B21)

作者简介 王云龙(1967-)男,高级工程师,研究方向为村镇住宅污水的处理及工程管理,E-mail yunlong-w@163.com

联系作者 刘志刚 联系电话 021-65981794 E-mail lzg0532@tongji.edu.cn

到农村经济承受能力低、专业管理人员缺乏的现状,南汇地区农村生活污水采用了分散式就地处理的模式,截止到 2010 年 5 月底,在建和已经运行的污水处理工程已有 150 余处。综合来看,所采用的典型处理工艺流程主要有 4 种(见图 1)。

污水 → 化粪池 → 厌氧池 → 兼性生物池 → 氧化渠 → 排放

图 1(a) 无动力厌氧发酵工艺

污水 → 化粪池 → 提升井 → 厌氧池 → 人工湿地 → 排放

图 1(b) 厌氧发酵-人工湿地工艺

污水 → 化粪池 → 提升井 → 一体化生物集成反应池 → 排放

图 1(c) 一体化生物集成工艺

污水 → 化粪池 → 提升井 → 一体化生物集成反应池 → 人工湿地 → 排放

图 1(d) 一体化生物集成-人工湿地工艺

图 1 4 种典型农村生活污水处理工艺流程

Fig.1 Four kinds of rural domestic sewage treatment processes

无动力厌氧发酵工艺完全通过自流和表面复氧实现处理过程,没有提升及机械充氧设施,主要利用厌氧发酵和兼性生物作用达到净化处理生活污水的目的,增加氧化渠(气管自然通风,表面复氧)的目的主要是提高出水水质,减少厌氧异味。厌氧发酵-人工湿地工艺则利用厌氧菌的降解作用以及土壤-微生物-植物组成的生态系统实现污水净化。为了补偿人工湿地的水头损失,该工艺设置泵提升措施。一体化生物集成工艺就是采用适当工程措施使得反应器中存在厌氧、兼氧、好氧等不同生物菌群,实现降解污染物,达到净化水质的效果。在一体化生物设施后增加人工湿地,则是为了进一步提高处理效果,同时具有环境美化作用。

2.2 处理效果对比

自 2009 年 6 月开始,选择已经正常运行的上述 4 种不同工艺流程的工程进行跟踪监测,连续 5 个月不同工艺的处理效果及比较见图 2。尽管农村生活污水进水污染物浓度变化很大,但一体化生物集成、一体化生物集成-人工湿地工艺处理效果比较稳定,COD、BOD₅ 的去除率超过 75%,而氨氮的去除率也达 70%以上,出水都能达到上海市污水综合排放标准(DB 31/199-2009) 二级标准。单纯从 COD、BOD₅ 和氨氮的去除率看,一体化生物集成工艺要高于一体化生物集成-人工湿地工艺,但考虑进水(一体化生物集成工艺进水浓度偏高)以及出水波动情况,可以发现后者受进水变化影响小,其处理效果更为稳定。厌氧发酵-人工湿地工艺对 COD、BOD₅ 的去除率超过 80%,但是出水氨氮较差,

平均值超过 20 mg·L⁻¹;无动力厌氧发酵工艺对 COD、BOD₅ 的去除率只有 60%左右,对氨氮的去除率则只有 38%,且出水受到进水浓度变化影响很大,远大于厌氧发酵-人工湿地工艺。比较 4 种工艺的出水变化以及去除率可以看出,人工湿地系统具有较好处理效果,尤其是脱氮性能明显,而且其出水浓度相对稳定,即具有一定的耐负荷冲击能力,因此人工湿地成为推荐的主要工艺^[2-3]。

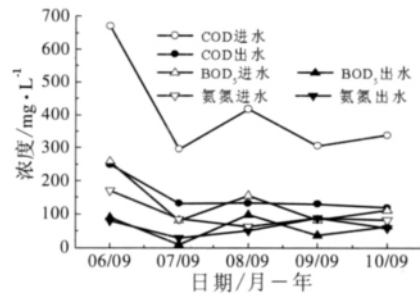


图 2(a) 无动力厌氧发酵工艺

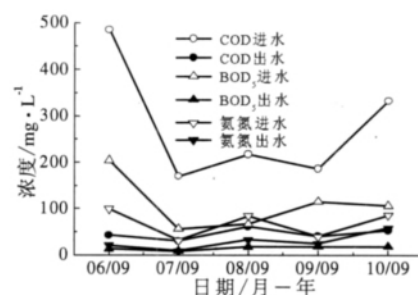


图 2(b) 厌氧发酵-人工湿地工艺

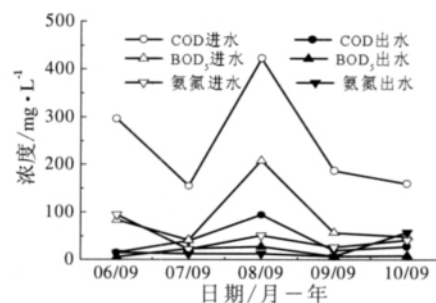


图 2(c) 一体化生物集成工艺

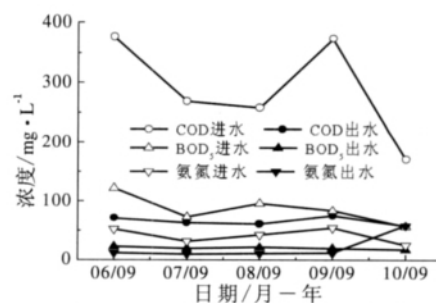


图 2(d) 一体化生物集成-人工湿地工艺

图 2 4 种典型农村生活污水处理工艺处理效果

Fig.2 Effects of four rural domestic sewage treatment processes

2.3 其它方面比较

4 种典型的农村生活污水处理工艺吨水投资、运行费用等基本参数见表 1，水力停留时间不包括化粪池、人工湿地，吨水投资不包括收集系统和化粪池。除了湿地，其余设施都放于地下。4 种农村生活污水处理工艺都设有自动控制设施，无需专人管理，但都需要定期清理、检修。人工湿地采用建筑用碎石作为载体，种植的植物为长秆美人蕉。一体化生物集中工艺内部采用水下曝气机进行充氧，池内挂有生物填料。可以看出 4 种工艺的工程吨水投资都比较高，尤其是采用钢混结构的工程，吨水投资超过 6 000 元以上，远高于其它一些村镇污水处理设施投资^[4-5]。主要原因为：首先上海南汇地区农村生活污水处理工程都是建在河沟边、断头浜等地质、地理条件较差的地方，地基处理增加了建设投资；其次考虑到农村缺少管理人员、水质水量变化大等原因，因此在进行工程设计时，设计的水力停留时间很长（见表 1），意味着池容较大，基建投资高；另外因为工程处理规模较小，导致单位投资升高。如一体化生物集成+人工湿地工艺采用的水力停留时间要长于一体化生物集成工艺，且增加了人工湿地处理单元，但前者的吨水投资要低于后者。说明对于相对集中的自然村落应尽可能集中在一起建污水处理设施以降低建设成本和运行成本。

结合图 2 可以看出，采用一体化生物集成措施可以明显提高脱氮效率，但运行费用和投资也相应增加，而根据农村现状，是否必须脱氮尚待考虑。投资和运行费用过高极大程度上限制了这些工艺在农村区域的应用，因此如何优化工艺，减少投资和运行费用，并根据农村实际情况制定相关的排放标准或规范成为目前急需解决的问题。

综合处理效果及其它方面的比较，4 种工艺的优缺点总结见表 2。

3 结论和建议

上海南汇地区农村生活污水具有污染源覆盖面广、污染源分散、日变化系数大、污染物含量高等特

表 2 4 种典型农村生活污水处理工艺优缺点

Tab.2 Advantages and shortcomings of four rural domestic sewage treatment processes

工艺	优点	缺点
无动力厌氧发酵	无动力消耗，操作管理方便，基建投入较低。	处理效率低，耐冲击能力差，需要有高差的特殊地形，只适于流量较小的处理。
厌氧发酵-人工湿地	运行费用较低，操作管理方便，处理效果较好，具有一定脱氮性能。	投资较大；占地面积较大。
一体化生物集成	占地少，处理效果好，具有一定脱氮能力，可根据进水调整运行状态。	耐冲击能力较差；投资、运行费用较高，需人定期维护调整。
一体化生物集成-人工湿地	处理效率高，耐冲击负荷；脱氮能力明显，布局灵活，适用范围广。	投资、运行费用较高，需人定期维护；

点。采用一体化生物集成技术可以有效提高废水的处理效果，而一体化生物集成技术与人工湿地组合工艺则具有很好的耐冲击能力，处理效果稳定。2 种方式都可以获得 75% 以上的 COD 和 BOD₅ 去除率，氨氮去除率超过 70%；单纯的厌氧发酵工艺处理效果较差，且耐冲击能力也差。

农村生活污水治理应根据实际情况因地制宜采用不同的处理工艺，对于相对集中的自然村落应尽可能集中在一起建污水处理设施以降低建设成本和运行成本。

根据农村现状制定相关的生活污水排放标准或规范成为目前急需解决的问题，它直接决定了处理工艺的选择和投资等。

参考文献：

[1] 崔志峰,王凯军,宋英豪,等. 村镇生活污水控制技术研究[C].成都: 中小城镇市政污水处理工程技术工艺高级研讨会,2005,11:5-8.

[2] 刘霞,陈洪斌. 村镇及小区污水的生态处理技术[J]. 中国给水排水, 2003,19(12):32-35.

[3] Huang J, Reneau J R, Hagedorn C. Nitrogen removal in constructed wetlands employed to treat domestic wastewater [J]. Water Research, 2000, 34(9): 2582-2588.

[4] 郭一令,王森,高恺,等. 耕作层下土地自然净化技术处理村镇生活污水[J]. 中国给水排水, 2009, 25(10): 59-62.

[5] 张建,黄霞,施汉昌,等. 滇池流域村镇生活污水地下渗滤系统设计[J]. 给水排水, 2004, 30(7): 34-36.

表 1 四种典型农村生活污水处理工艺基本参数比较

Tab.1 Basic parameters comparison of four rural domestic sewage treatment processes

工艺	服务农户 / 户	水力停留时间 / h	吨水投资 / 元	运行费用 / 元·m ³	结构	湿地结构
无动力厌氧发酵	7	96	2 800	基本无	砖混	
厌氧发酵-人工湿地	35	96	8 300	0.15	钢混	砖混
一体化生物集成	20	36	7 100	0.60	钢混	
一体化生物集成-人工湿地	216	60	6 700	0.35	钢混	砖混

COMPARISON OF FOUR KINDS OF RURAL DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT IN NANHUI DISTRICT SHANGHAI

Wang Yunlong¹, Zhang Zhisheng¹, Tao Qi¹, Liu Zhigang², Ma Luming²

(1.Nanhui Environmental Planning Institute, Shanghai 201300, China;

2.College Environmental Science & Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Sewage pollution in rural areas has become increasingly serious, it is very important to choose a suitable technology based on the current status of rural areas. By comparing the effect, management and investment etc. of 4 kinds of sewage treatment process which has been operated in Nanhui District, Shanghai, some references in choice of sewage treatment technology in some rural areas may be given. Results showed that integral biological technology could improve treatment effect, and integral biological technology combining with constructed wetland had good resistance to shock loading, stable treatment effect. The removal efficiencies of COD and BOD₅ were more than 75% in both processes, and the removal efficiency of ammonia nitrogen was over 70%, the effluents could meet the second standard issued by <Shanghai integrated wastewater discharge standard> (DB 31/199-2009). Sewage treatment technology should be chosen according to the actual local conditions in rural areas, and centralized treatment pattern was proposed to reduce the investment and operating cost.

Keywords: rural domestic sewage; treatment process comparison; integral biological technology; constructed wetland

(上接第 129 页)

PILOT STUDY ON PCB HEAVY METALS WASTEWATER TREATMENT USING UF-RO MEMBRANE SEPARATION PROCES

Zhang Liankai, Zhang Zunju, Zhang Yiting, Sun Lei, Wang Bo, Cheng Jing

(Environmental Management College of China, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: In this paper, the PCB industry heavy metal wastewater was treated by Ultrafiltration (UF)- Reverse Osmosis (RO) process after pH adjusting. The results showed that, UF removal of turbidity and SS were 97% and 73%, RO removal of Cu and TDS were 99.9%, 98.9%, while the raw wastewater concentrations were Cu²⁺ 60~160 mg·L⁻¹, conductivity 4.5~6.8 mS·cm⁻¹, SS 60~80 mg·L⁻¹, total suspended solids (TDS) 1 600~3 200 mg·L⁻¹. The effluent water met the national electronic grade water standard IV (GB/T 11446.1—1997); Membrane fouling study showed that UF run with 30 min, backwash with 5 min, trans-membrane pressure (TMP) was not changed significantly. The production rate and TMP of RO membrane water showed significant negative correlation, the correlation coefficient was -0.986 1. In the experiment, the way to prevent RO membrane fouling was adding activated carbon, quartz sand filter and increase the frequency of backwash. The system operating cost was 3.36 yuan·m⁻³. This system can save a lot of water, recyclable precious metals, reduce the waste of resources. Therefore, the project has good economic and environmental benefits.

Keywords: Ultrafiltration (UF); Reverse osmosis (RO); PCB; Heavy metal waste water

(上接第 132 页)

TREATING STARCH WASTEWATER BY EGSB PROCESS AND HIGH VALUE USE OF BIOGAS

Liu Jianguang¹, Zhang Chunyang², Zhang Guanglan³, Gan Hainan³

(1.School of Municipal and Environmental Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan 250101, China;

2.School of Thermal Energy Engineering, Shandong Jianzhu University; Jinan 250101, China;

3.Shandong Sifon Environmental Protection and Bio-energy Co., Ltd, Jinan 250101, China)

Abstract: The expanded granular sludge bed (EGSB) reactor -A/O process had been used for treating highly concentrated starch wastewater, and the biogas produced in EGSB was purified. Under the condition of 35 °C, the COD volume load of EGSB reaches up to 20 kg·m⁻³·d⁻¹, and the combined process removal rates of COD, BOD₅ and SS were 98.5%、99.5% and 95%, respectively. After being treated by the combined process, the effluent quality was able to satisfy the demands of discharge. After purification treatment, the methane content of biogas was high than 98%, and the hydrogen sulfide content was below 20 mg·m⁻³. The natural gas production was 6 000 m³·d⁻¹, the high value use of biogas was achieved.

Keywords: starch wastewater; expanded granular sludge bed; aerobic process; biogas