

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2015.03.023

农村污水的厌氧-跌水-人工湿地组合处理^①

李希希¹, 宋官勇², 张伟³, 肖广全¹,
管宏友¹, 陈玉成¹, 张信伟⁴

1. 西南大学 资源环境学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715;
2. 成都市锦江区东光街道办事处, 成都 610021;
3. 山东省青岛市团岛污水处理厂, 青岛 266002;
4. 重庆市忠县环境监测站, 重庆 404300

摘要: 随着水环境质量要求的提高, 以分散排放为主的农村生活污水处理逐渐提上日程. 试验以具有典型丘陵地貌特征的重庆农村为对象, 采用厌氧-跌水-人工湿地组合工艺, 处理分散型生活污水处理. 结果表明, 系统稳定运行后, COD, NH₄⁺-N, TN, TP 去除率分别为 85.26%, 80.77%, 77.07%, 和 73.35%, 其出水质量浓度分别为 82.13, 8.16, 14.43 和 1.77 mg/L, 达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)的二级标准. 该法投资小, 能耗低, 管理方便, 在我国农村具有广泛推广的前景.

关键词: 农村生活污水; 厌氧; 跌水; 人工湿地

中图分类号: X703.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2015)03-0139-06

随着美丽乡村的建设和城镇化的推进, 农村居住方式发生了较大变化, 联户居住比例逐渐加大, 带来的生活污水需要就近处理^[1-3]. 生活污水主要是指洗涤、沐浴和部分卫生洁具排水, 水量因地区经济发展程度的差异而不同, 因其含有大量的营养盐及细菌、病毒, 易造成地表水及地下水污染^[4]. 与城市生活污水不同, 农村生活污水一般具有排量小、有机物浓度含量偏高、间歇排放、日变化系数较大(一般在 3.0~5.0)等特点^[5-7], 因此农村生活污水不宜采用城市污水处理模式进行处理, 如今利用单独的工艺处理农村生活污水已难以满足日益严格排放标准, 而将各单元工艺进行组合, 可以强化系统脱氮除磷的能力^[8]. 本文以重庆市九龙坡区金凤镇海兰村谢家院子为研究对象, 将厌氧、跌水、人工湿地三种单元工艺进行组合, 探讨厌氧-跌水-人工湿地组合工艺处理对生活污水的应用效果^[9].

1 材料与方法

1.1 试验污水

试验地点为重庆市金凤镇海兰村谢家院子. 通过管道收集院落所有生活污水, 进水水质见表 1.

表 1 试验进水水质

/(mg · L⁻¹)

项目	SS	COD	TN	NH ₄ ⁺ -N	TP
进水	400~200	300~750	50~130	15~55	2.5~5.5

注: SS(悬浮物)、COD(化学需氧量)、TN(全氮)、NH₄⁺-N(氨氮)、TP(总磷).

① 收稿日期: 2013-10-28

基金项目: 国家“十一五”重大水专项“库区山地村落生活污水及人畜粪便前端处理技术装备及示范”(2009ZX07104-002-07B); 中央高校基本科研业务费专项(SWU113015).

作者简介: 李希希(1989-), 女, 湖北武汉人, 硕士研究生, 主要从事水污染控制的研究.

通信作者: 陈玉成, 教授.

1.2 工艺流程和设计参数

工艺流程采用厌氧-跌水-人工湿地组合工艺(图 1).

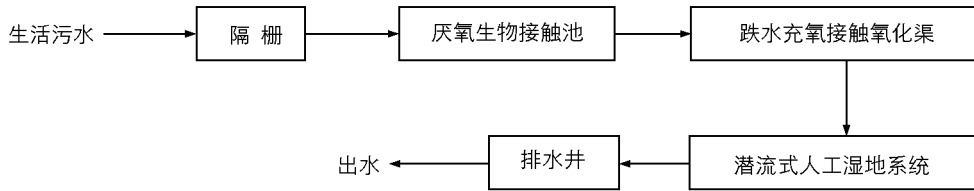


图 1 处理工艺流程

设计处理规模为 $13.5 \text{ m}^3/\text{d}$, 各单元的设计参数为:

- 1) 厌氧生物接触池. 采用三格池, 分别为 $1.5 \text{ m} \times 2.0 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$, $1.5 \text{ m} \times 2.0 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$, $2.4 \text{ m} \times 2.0 \text{ m} \times 2.0 \text{ m}$, 矩形砖混结构, HRT 为 1.5 d.
- 2) 跌水充氧接触氧化渠. 规格为 $6 \text{ m} \times 0.5 \text{ m} \times 1.0 \text{ m}$, 矩形砖混结构, 依地势而建, 由 4 个渠道长为 1.5 m 的渠道相邻组合为一组, 每个氧化渠相邻落差为 0.5 m. 表面水力负荷为 $4.5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$.
- 3) 潜流式人工湿地系统. 人工湿地规模为 $2 \times 17 \text{ m}^2$, 尺寸为 $13.6 \text{ m} \times 3.4 \text{ m}$, 由 4 格组成, 每格 $3.4 \text{ m} \times 3.4 \text{ m}$ (底 $3.4 \text{ m} \times 3.0 \text{ m}$). 砖混梯形埋地式结构, 每座设计流量为 $6.75 \text{ m}^3/\text{d}$, 水力负荷为 $0.4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$. 填料: 湿地床填料由粗到细分为 $\Phi 40 \sim 100$, $\Phi 10 \sim 20$, $\Phi 1 \sim 3 \text{ mm}$ 3 级, 其组成分别为表层砂土层、中层砾石、下层片石. 每格依次均匀栽种再力花 (*Thalia dealbata*)、水菖蒲 (*Acorus calamus* L.)、台湾竹 (*Cyperus alternifolius*) 和大聚藻 (*Myriophyllum aquaticum*) 湿地植物, 植物布满整个湿地床.

1.3 运行与监测

在整个运行期(2011 年 7 月—2012 年 1 月, 约 200 d), 布点监测组合工艺的 SS, COD, TN/ NH_4^+-N , TP 的进、出水质量浓度. 监测方法为: SS 用烘干质量测定法, COD 用重铬酸钾法, TN/ NH_4^+-N 用凯氏定氮法, TP 用钼锑抗分光光度法^[10].

2 结果与讨论

2.1 组合工艺对 COD 的去除

在厌氧-跌水-人工湿地组合工艺中, 厌氧池将大分子有机物酸化、水解成小分子有机物或无机物, 去除一部分 COD 和氮; 跌水充氧氧化渠的主要通过曝气供氧, 彻底降解小分子有机物, 并担负氮的硝化; 人工湿地则进一步去除氮、磷营养物质和有机物. 在厌氧池中异养微生物通过厌氧发酵将废水中不溶性有机物和大分子溶解性有机物分解为 CH_4 和 CO_2 ; 在跌水充氧接触氧化池中的好氧微生物将部分可生物降解的小分子有机物降解为 CO_2 和 H_2O ; 在人工湿地中, 通过化学分解和异养微生物的降解作用进一步去除有机物^[11]. 厌氧池和接触氧化池可以大幅度的减少污水中的有机物, 这有效减少了湿地的负担, 也解决了湿地易堵塞的问题^[12].

试验发现(图 2), 在整个运行期间, COD 进水质量浓度波动较大, 变化范围为 $121.8 \sim 2\,624.0 \text{ mg/L}$. 冬季进水 COD 质量浓度大幅升高, 可能是由于农村居住人口数量不稳定造成的. 处理工艺对 COD 的去除率在 2 个多月的连续进水后基本达到稳定, 从开始运行 55 d 之后的总出水的 COD 去除率达到 85.26%, 而实际上除去运行 113 d 以后异常增大的进水质量浓度造成的 4 次出水异常以后, 出水的 COD 平均质量浓度为 82.13 mg/L , 可以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)的二级标准(100 mg/L). 在运行 55 d 之前一个月, 由于进水 COD 质量浓度一直处于 100 mg/L 左右, 导致微生物处于饥饿状态, 待运行 55 d 后进水 COD 质量浓度达到 500 mg/L , COD 去除率升高. 运行第 84 d 的异常数据可能是因为当日出现的阵雨对处理工艺的影响. 采样监测时间跨越了夏、秋、冬, 由于使用了前置厌氧池, 有效抗击了农村地区生活污水早、晚排放量大, 冬季排放质量浓度高等形式的冲击负荷, 使得 COD 去除率在系统稳定后保持了相对的稳定, 而进水质量浓度变化和重庆地区的年气温的变化($5 \text{ }^\circ\text{C} \sim 38 \text{ }^\circ\text{C}$)及气候条件对该工艺的影响较小.

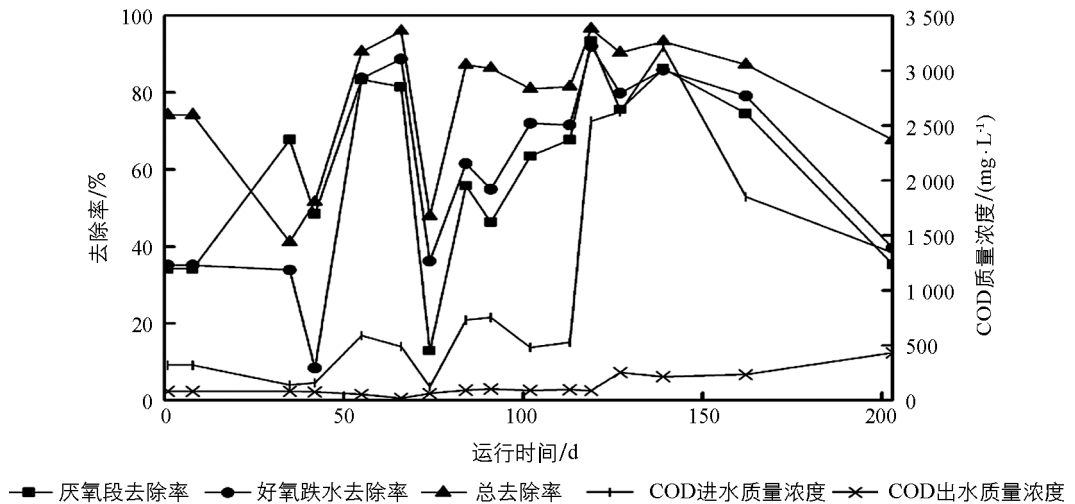


图 2 COD 进出水质量浓度和去除率

2.2 组合工艺对 SS 的去除

由于工程暴露于乡村公路旁, 受周边环境干扰较大, 所以各级出水 SS 的去除率有很多无规律的跳动, 但仍能发现(图 3), 经过人工湿地处理生活污水的 SS 的平均去除率都在 90% 以上, 去除效果显著. 污水中的不溶物质通过湿地的沉淀、过滤作用, 可以很快被截留下来, 其中有机物被湿地中的微生物利用, 无机物则沉淀下来作为人工湿地的基质^[13].

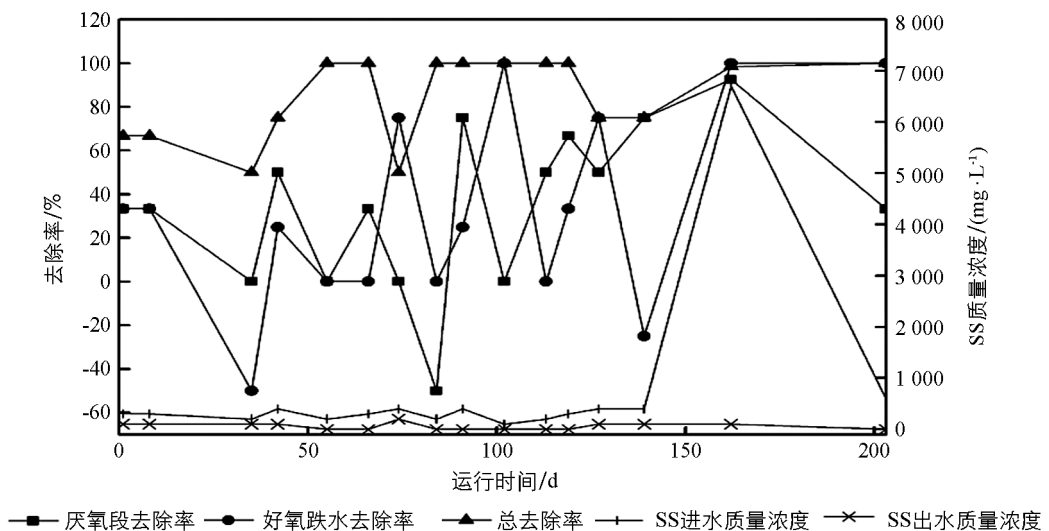


图 3 SS 的进出水质量浓度和去除率

2.3 组合工艺对 NH₄⁺-N, TN 的去除

NH₄⁺-N 在厌氧池中的去除量较小, 主要通过厌氧池中底泥的吸附作用去除, 与此同时部分可氨化含氮有机物分解后产生大量的 NH₄⁺-N^[14]; 跌水充氧氧化渠中靠硝化作用以及微生物同化作用得以去除; 在人工湿地中通过 NH₃ 挥发、微生物转化(硝化/反硝化作用)、植物吸收、基质吸附和沉淀过滤等作用进一步去除 NH₄⁺-N^[15].

厌氧出水在初期确实去除率较小, 但是经过一段时间后却大幅度上升(图 4), 成为了整个组合工艺的主要去除 NH₄⁺-N 的步骤, 可能是因为农村条件下, 厌氧池密封不够严格, 随着时间的推移处理设施缺乏完善的维护, 厌氧条件也越来越不明显, 而厌氧池中停留时间较长, 反应比较充分. 处理情况在第 42 天出现的突然变化可能是因为气温太高(41 °C)或者是污水的影响, 而第 74 天极可能是受降雨影响. 处理工艺稳定后, 处理后 NH₄⁺-N 的平均去除率达到 80.77%, 除去第 113 天以后异常增大的进水质量浓度造成的 4 次出水异常以外, 出水平均质量浓度为 mg/L, 整套工艺对 NH₄⁺-N 去除运行较稳定.

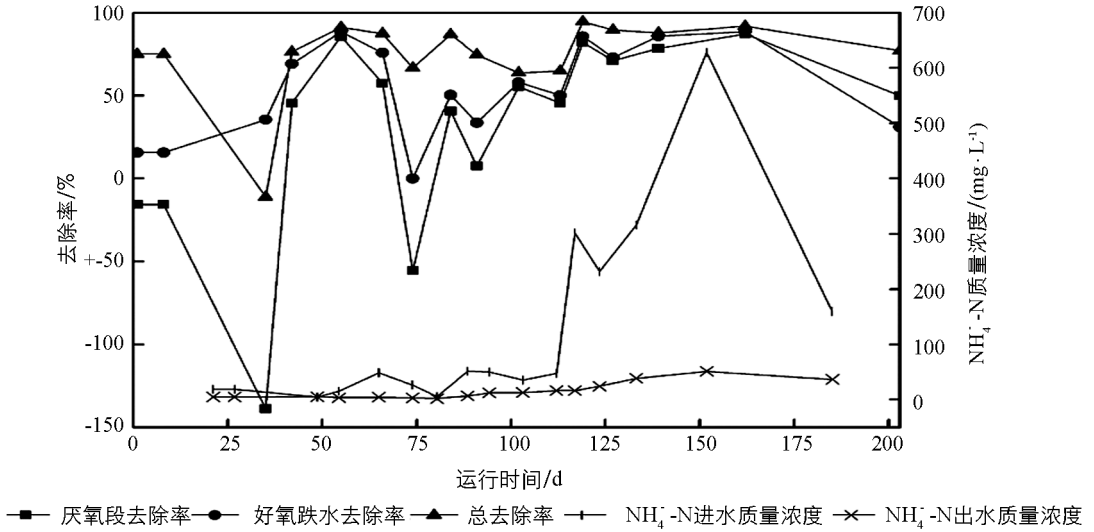


图 4 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的进出水质量浓度和去除率

在厌氧池中反硝化菌通过反硝化作用 $\text{NO}_3^- \text{-N}$, $\text{NO}_2^- \text{-N}$ 转化为 N_2 ; 跌水充氧接触氧化池中仅靠同步硝化反硝化以及微生物同化作用进行氮的去除; 在人工湿地中通过 NH_3 挥发、微生物转化(反硝化)、植物吸收、介质吸附和沉淀过滤等作用进一步去除 $\text{TN}^{[16]}$. 第 42 天的处理情况异常跟 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 中的原因一致, TN 的去除主要在厌氧池中完成, 剔除异常值之后平均完成了 54.13%, 稳定后处理后总出水平均去除率为 77.07%(图 5), 平均出水质量浓度为 14.43 $\text{mg/L} < 15 \text{ mg/L}$, 达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)的一级 A 标准.

2.4 组合工艺对 TP 的去除

人工湿地对于磷的去除作用在整个系统中占有很大比重, 其去除原理包括微生物的同化作用、植物的吸收作用、聚磷菌的过量摄磷作用以及填料的物理化学作用. 理论上, 夏季高温气候有利于磷的去除, 低温则降低了湿地的除磷效率. 由图 5 可以看出, 经过前两个月的运行后, TP 的去除率基本稳定达到 73.35%, 出水平均质量浓度为 1.77 mg/L . 与前面结果一样在 113 d 以后, 进水质量浓度异常增大, 但这对 TP 的去除率的影响较小, 可见, 该处理设施能极大地缓冲进水质量浓度的变化. 由图 6 可知, 冬季 TP 的去除率并没有明显的下降, 一方面重庆地区冬季温度不是特别低, 维持在 $5^\circ\text{C} \sim 8^\circ\text{C}$; 另一方面, 可能是冬季人工湿地除磷效果下降的同时厌氧池反而起到了保温的作用, 除磷效果在第 102 天之后又显著上升.

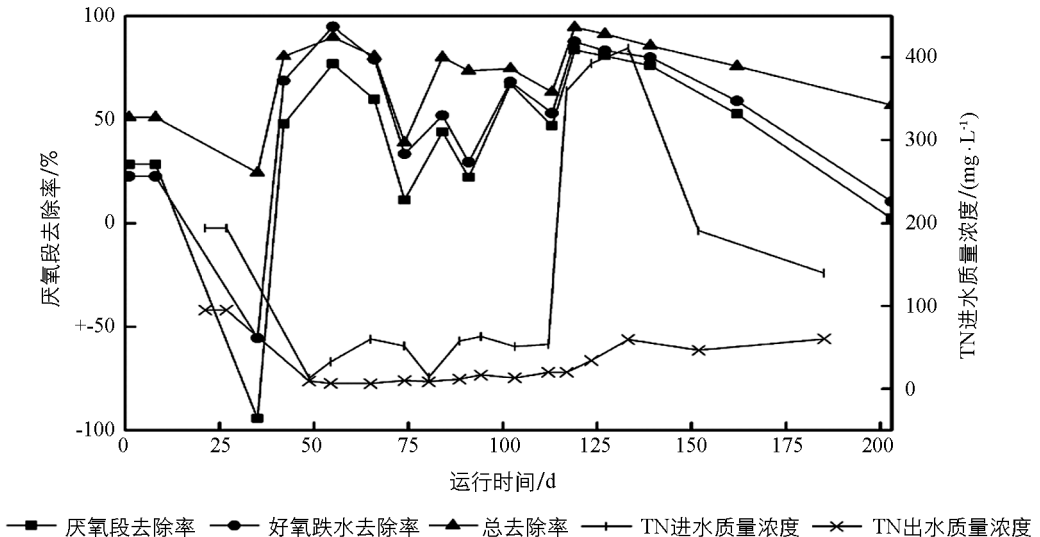


图 5 TN 的进出水质量浓度和去除率

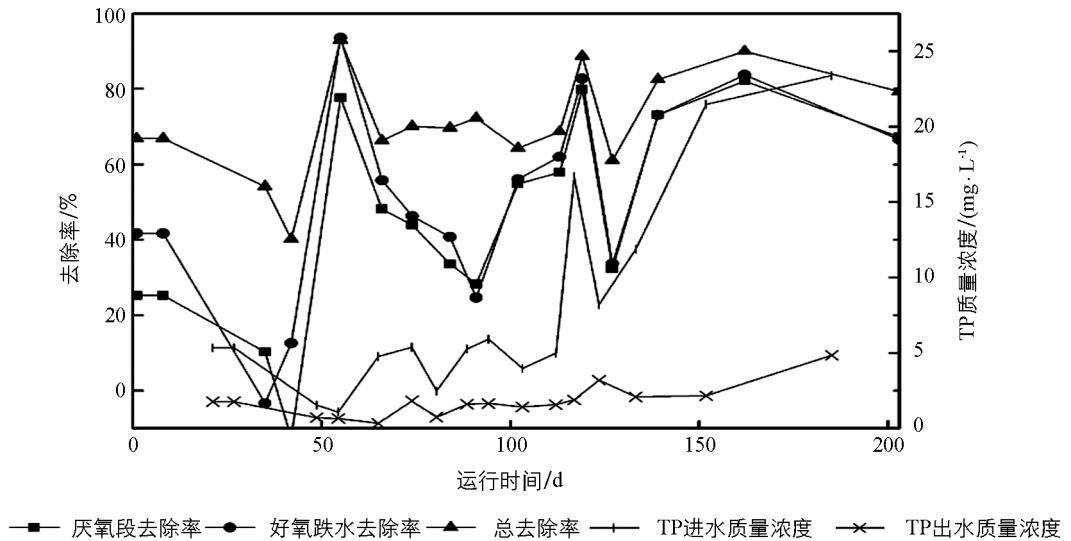


图6 TP的进出水质量浓度和去除率

3 结论

厌氧-跌水-人工湿地组合工艺处理农村生活污水的现场试验表明, COD, NH_4^+-N , TN, TP 去除率分别达到 85.26%, 80.77%, 77.07% 和 73.35%, 出水质量浓度分别为 82.13, 8.16, 14.43, 1.77 mg/L, 均能符合《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002)的二级标准。

采用厌氧-跌水-人工湿地组合工艺, 处理农村分散型生活污水, 既能达到水质处理要求, 又具有能耗低、维护和管理方便、费用低等优点, 是一种适宜于丘陵山区推广的行之有效的处理工艺。

参考文献:

- [1] 蔡进, 邱道持, 赵梓琰, 等. 新型农村社区人居环境变化研究——以重庆市忠县天子村社区为例 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2013, 35(10): 117-124.
- [2] 秦小红, 彭莉, 张向和, 等. 重庆农村饮水安全局势调查分析 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2013, 35(11): 157-163.
- [3] 秦小红, 彭莉, 何娟, 等. 基于城乡统筹的重庆市农村环境卫生满意度评估 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2013, 38(11): 136-141.
- [4] DRIZOA, FROSTCA. Physico-Chemical Screening of Phosphate Remaining Substrate for Use in Constructed Wetland System [J]. Wat Res, 1999, 33(17): 3595-3602.
- [5] 白永刚, 吴浩汀. 太湖地区农村生活污水治理技术初探 [J]. 电力环境保护, 2005, 21(2): 44-45.
- [6] 李杰霞, 杨志敏, 陈庆华, 等. 重庆市农业面源污染负荷的空间分布特征研究 [J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2008, 30(7): 146-151.
- [7] 钟秀玉, 王亦宁. 我国农村生活排水和污水处理发展对策 [J]. 中国水利, 2013(1): 33-36.
- [8] 周正伟, 吴军, 夏金雨, 等. 我国南方农村生活污水处理技术的研发现状 [J]. 山东建筑大学学报, 2009, 24(3): 261-266.
- [9] 宋官勇. 三峡库区分散型村落生活污水处理模式与技术研究 [D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- [10] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会编. 水和废水监测分析方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [11] 王得蕊, 钟成华, 邓春光, 等. 长江三峡库区蓄水前氮磷污染现状逐步研究 [J]. 西南农业大学学报: 自然科学版, 2005, 27(1): 124-127.
- [12] 唐晶. 厌氧/跌水充氧接触氧化/人工湿地处理农村生活污水研究 [D]. 南京: 东南大学, 2008.
- [13] 吴磊, 吕锡武, 李先宁, 等. 厌氧/跌水充氧接触氧化/人工湿地处理农村污水 [J]. 中国给水排水, 2007, 23(3):

58—59.

- [14] 唐恒军. 跌水曝气接触氧化处理小城镇污水的研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2007.
- [15] 刘文涛, 吴 磊, 吕锡武, 等. 生物生态耦合技术处理农村生活污水的应用研究 [J]. 环境监控与预警, 2012, 2(1): 46—49.
- [16] 张震宇, 吴义峰, 黎发明, 等. 一种农村分散式生活污水节能高效工艺 [J]. 绿色科技, 2012, 11(1): 33—37.

Treatment of Rural Sewage with an Anaerobic-Water Dropping Aerating-Constructed Wetland Process

LI Xi-xi¹, SONG Guan-yong², ZHANG Wei³, XIAO Guang-quan¹,
GUAN Hong-you¹, CHEN Yu-cheng¹, ZHANG Xin-wei⁴

1. School of Resources and Environment, Southwest University, Key Laboratory of Eco-Environment in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Chongqing 400716, China;
2. Dongguang Street Office, Jinjiang District, Chengdu Sichuan 610021, China;
3. Tuandao Sewage Treatment Plant, Qingdao Shandong 266002, China;
4. Environmental Monitoring Station of Zhong County in Chongqing, Chongqing 404300

Abstract: Along with the increasingly higher requirement for water environment, the rural sewage treatment on a dispersed basis has been placed on agenda. In an experiment reported in this paper, the anaerobic-water dropping aerating-constructed wetland process was used to treat rural sewage in Chongqing, which features a steeply mountainous landscape. When the operation of the treatment was stabilized, the average removal efficiency of COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TN and TP was 85.26%, 80.77%, 77.07% and 73.35%, respectively, and the average COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TN and TP concentration in the effluent were 82.13, 8.16, 14.43 and 1.77 mg/L, respectively. All the indexes were in accord with Grade II of Cities Sewage Treatment Plant Pollutant Discharge Standard (GB18918-2002). This process is characterized by low cost, low energy consumption and convenience of management and, therefore, may be widely extended in the rural areas of China.

Key words: rural domestic sewage; anaerobic; water dropping aerating; constructed wetland

责任编辑 陈绍兰

