

周金波, 包薇红, 罗 艳, 等. 宁波地区 4 种典型农村生活污水处理工艺污染物去除率比较分析[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(5): 492-498.
ZHOU Jin-bo, BAO Wei-hong, LUO Yan, et al. Comparison and Analysis of Pollutant Removal Efficiency of Four Kinds of Typical Rural Domestic Sewage Treatment Technology in Ningbo Area, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2017, 34(5): 492-498.

宁波地区 4 种典型农村生活污水处理工艺 污染物去除率比较分析

周金波¹, 包薇红², 罗 艳², 李 洋¹, 金树权^{1*}

(1.宁波市农业科学研究院生态环境研究所, 浙江 宁波 315040; 2.宁波市环境科学保护设计研究院, 浙江 宁波 315012)

摘 要:选择宁波地区的 A/O 一体化、生物滤池、生物转盘和人工湿地等 4 种典型农村生活污水处理工艺为研究对象,于 2013 年 1 月—2015 年 12 月期间开展各工艺终端处理设施的进出水水质跟踪监测,进行各处理工艺的污染物去除率和稳定性比较分析。结果表明,4 种处理工艺的 COD、BOD₅、SS 多年平均去除率大小顺序均为 A/O 一体化>生物滤池>生物转盘>人工湿地, TN 多年平均去除率大小顺序为生物滤池>生物转盘>A/O 一体化>人工湿地,其中 A/O 一体化、生物滤池和生物转盘工艺的 COD、BOD₅、TN 平均去除率均显著高于人工湿地工艺;A/O 一体化、生物滤池和生物转盘工艺随着终端处理设施运行年限的延长, COD、BOD₅、SS、TN 去除率均保持稳定,而人工湿地工艺的 COD、BOD₅、TN 去除率均呈现明显的下降趋势;各处理工艺在低温期(11 月—次年 4 月)和高温期(5 月—10 月)的 SS 去除率差异不明显,但各处理工艺的 COD、BOD₅、TN 去除率在低温期明显低于高温期,其中 A/O 一体化工艺差异相对较小,生物滤池工艺差异最大。

关键词:农村生活污水;处理工艺;处理效率

中图分类号:X703.1

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2017)05-0492-07

doi: 10.13254/j.jare.2017.0124

Comparison and Analysis of Pollutant Removal Efficiency of Four Kinds of Typical Rural Domestic Sewage Treatment Technology in Ningbo Area, China

ZHOU Jin-bo¹, BAO Wei-hong², LUO Yan², LI Yang¹, JIN Shu-quan^{1*}

(1.Ecology and Environment Institute, Ningbo Academy of Agricultural Science, Ningbo 315040, China; 2.Environmental Protection Research and Design Institute of Ningbo, Ningbo 315012, China)

Abstract: Comparison and analysis of pollutant removal efficiency and stability of 4 kinds of typical rural domestic sewage treatment technology, including A/O integrated equipment technology (A/O), biological aerated filter technology (BAF), rotating biological contactor technology (RBC), constructed wetland technology (CW), were investigated in Ningbo area from Jan 2013 to Dec 2015. The results indicated that, multi-year average removal efficiency of COD, BOD₅, SS of 4 kinds of technology were in the sequence of A/O>BAF>RBC>CW, while multi-year average removal efficiency of TN was in the sequence of BAF>RBC>A/O>CW, among them the average removal efficiency of COD, BOD₅, TN of A/O, BAF and RBC were significantly higher than that of CW. Removal efficiency of COD, BOD₅, SS, TN of A/O, BAF and RBC were kept stable accompanied by extension of service period, but removal efficiency of COD, BOD₅, TN of CW were decreased significantly accompanied by extension of service period. Removal efficiency of SS was little difference between low temperature period (Nov to Apr) and high temperature period (May to Oct), but removal efficiency of COD, BOD₅, TN of low temperature period were significantly lower than that of high temperature, among them A/O was relatively insignificant, and BAF was the most.

Keywords: rural domestic sewage; treatment technology; removal efficiency

收稿日期:2017-05-12

基金项目:宁波市科技社发攻关项目(2014C50001)

作者简介:周金波(1979—),女,浙江慈溪人,学士,农艺师,主要从事农村生态环境研究。

*通信作者:金树权 E-mail:jinsuq@126.com

随着农村地区生活水平逐步提高,农村居民对生态环境的要求越来越高,农村生活污水处理也日益受到各级政府部门和环境工作者的重视和关注^[1-2]。农村生活污水处理工程主要包括管网收集和终端处理两部分,科学合理选择终端处理的技术模式是农村生活污水处理的关键^[3-6]。目前,农村生活污水处理工艺原理主要包括活性污泥法、生物膜法等生物处理原理或者人工湿地和土壤渗滤等生态处理原理^[7-8]。不同技术模式不仅在动力条件、工艺原理、投资建设与运行维护成本存在较大差异,也在处理效率、稳定性和外界因素方面存在较大差别,目前针对农村生活污水处理不同处理工艺的研究较多,但建立在大规模实际工程长期跟踪监测的系统比较研究尚少,不同技术模式的系统评价对于深入开展农村生活污水处理工作十分关键。

浙江省宁波市自2009年开展世界银行贷款宁波新农村发展项目农村生活污水处理子项目(以下简称“世行农村生活污水项目”)以来,农村生活污水处理工作已经取得阶段性成绩,为全市的农村生活污水处理工作奠定良好基础。本研究选择宁波地区采用A/O一体化、生物滤池、生物转盘和人工湿地等4种典型农村生活污水处理工艺的48处工程为研究对象,通过长期对各处理工艺不同运行年限和不同季节的终端设施进出水污染物浓度的水质跟踪监测,进行各处理工艺污染物多年平均去除率和稳定性比较分析,研究结论可为宁波市乃至东南沿海地区的农村生活污水项目全面开展提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 工艺流程

本研究涉及的农村生活污水处理工艺包括A/O一体化、生物滤池、生物转盘和人工湿地等4种,具体工艺流程见图1~图4。

1.2 调查与采样方法

选择宁波市世行农村生活污水项目第1~3批工程中采用A/O一体化、生物滤池、生物转盘和人工湿地工艺的工程项目各12处,所选48处工程的终端处理设施运行和维护均正常稳定。本研究于2013年1月—2015年12月期间开展各工艺终端处理设施的进出水水质跟踪监测,为避免地表径流影响,取样期间避开中雨及以上降雨期。

1.3 测定方法

水质测定指标包括COD、BOD₅、SS、TN等4项,

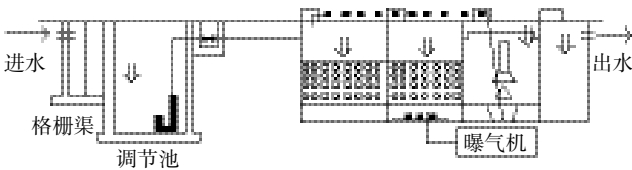


图1 A/O一体化工艺流程图

Figure 1 Flowchart of A/O integrated equipment technology

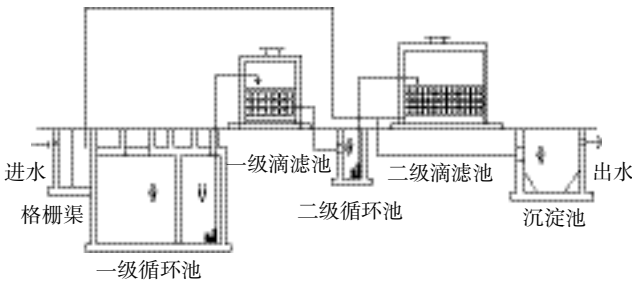


图2 生物滤池工艺流程图

Figure 2 Flowchart of biological aerated filter technology

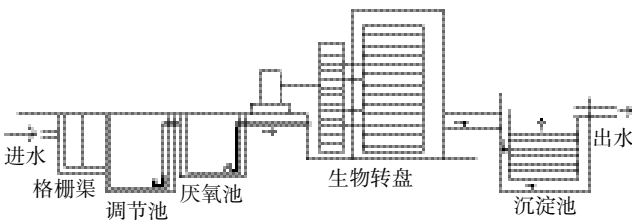


图3 生物转盘工艺流程图

Figure 3 Flowchart of rotating biological contactor technology

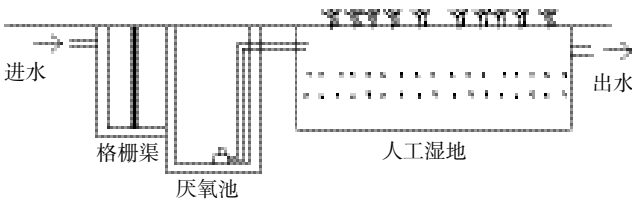


图4 人工湿地工艺流程图

Figure 4 Flowchart of constructed wetland technology

因世行项目未规定磷指标,本研究未测定磷相关指标。其中COD采用重铬酸盐法(GB/T 11914—1989),BOD₅采用测定稀释与接种法(HJ 505—2009),SS采用重量法(GB/T 11901—1989),TN采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(HJ 636—2012)^[9]。

1.4 数据处理

不同数据组间的差异($P < 0.05$)采用SPSS19.0单因素方差(One-Way ANOVA)分析的Duncan新复极差方法,两组数据之间比较采用 t 检验,制图软件采用Origin 7.5。

2 结果与分析

2.1 4 种处理工艺各污染物多年平均去除率比较分析

本研究于 2013 年 1 月—2015 年 12 月期间,在宁波地区 48 处农村生活污水处理工程共采集 292 批次的终端处理设施进出水水样。从表 1 可以看出,4 种处理工艺进水的 COD、BOD₅、SS 和 TN 污染物浓度变化幅度较大,但平均浓度均较为接近,且不存在显著性差异;4 种处理工艺的出水污染物,SS 平均浓度较为接近,而 COD、BOD₅ 和 TN 平均浓度差异较大。从 4 种处理工艺的污染物平均去除率比较看,COD、BOD₅、SS 的平均去除率大小顺序均为 A/O 一体化>生物滤池>生物转盘>人工湿地,其中 A/O 一体化、生物滤池和生物转盘工艺的 COD 和 BOD₅ 平均去除率均显著大于人工湿地工艺;TN 平均去除率大小顺序为生物滤池>生物转盘>A/O 一体化>人工湿地,其中生物滤池、生物转盘和 A/O 一体化工艺的 TN 平均去

除率显著大于人工湿地工艺。从以上结果可以看出,4 种处理工艺的 SS 去除率相差不大,A/O 一体化工艺处理的有机污染物处理效果相对较好,而生物滤池和生物转盘的 TN 处理效果相对较好。

2.2 不同运行年限条件下各处理工艺的去除率比较

为明确不同处理工艺在项目完工验收后不同运行年限下的污染物去除率变化情况,现将水质取样时间段分为工程竣工验收后的 0~12 个月、13~24 个月和 25~36 个月等 3 个时间段进行比较分析。从图 5 可以看出,维护和运行稳定的 A/O 一体化、生物滤池和生物转盘工艺随着终端处理设施运行年限的延长,各污染物去除率保持稳定并未发生下降趋势,但人工湿地工艺随着运行年限的延长,COD、BOD₅、TN 去除率均呈现明显的下降趋势,SS 去除率未发生明显变化。

2.3 不同温度条件下各工艺的去除率比较

由于各工艺的构筑物设计和安装环境存在差别,不同农村生活污水处理工艺受外界气温影响差异较

表 1 宁波地区 4 种典型农村生活污水处理工艺的污染物进出水浓度和去除率比较

Table 1 Comparison of input and output pollutants concentrations and removal efficiency of 4 kinds of typical rural domestic sewage treatment technology in Ningbo area

技术模式	样本数 <i>n</i>	COD 进水浓度/mg·L ⁻¹		COD 出水浓度/mg·L ⁻¹		去除率/%	
		平均浓度	变化范围	平均浓度	变化范围	平均去除率	变化范围
A/O 一体化	70	153.6a	23.6~385.0	44.9a	12.1~184.0	69.0b	27.2~89.9
生物滤池	82	162.1a	41.3~410.0	45.9a	11.6~200.0	66.9b	15.2~91.8
生物转盘	68	155.5a	30.5~425.0	46.8a	10.8~168.0	64.5b	22.7~87.4
人工湿地	72	150.4a	26.7~549.0	59.1b	10.0~128.0	55.6a	16.2~84.2
技术模式	样本数 <i>n</i>	BOD ₅ 进水浓度/mg·L ⁻¹		BOD ₅ 出水浓度/mg·L ⁻¹		去除率/%	
		平均浓度	变化范围	平均浓度	变化范围	平均去除率	变化范围
AO 一体化	70	58.9a	6.5~178.0	11.7a	3.0~26.9	72.5d	24.2~94.2
生物滤池	82	60.2a	5.5~192.0	13.2b	2.2~39.0	68.7c	12.0~93.6
生物转盘	68	56.2a	6.0~200.8	13.1b	2.8~38.0	67.0b	19.7~92.5
人工湿地	72	54.3a	7.6~299.0	15.9c	2.0~42.1	55.6a	16.0~82.9
技术模式	样本数 <i>n</i>	SS 进水浓度/mg·L ⁻¹		SS 出水浓度/mg·L ⁻¹		去除率/%	
		平均浓度	变化范围	平均浓度	变化范围	平均去除率	变化范围
AO 一体化	70	54.1a	2.1~348.0	14.1a	2.0~42.0	72.1a	23.5~92.9
生物滤池	82	55.6a	1.2~352.0	14.5a	0.9~55.0	68.9a	25.0~91.5
生物转盘	68	58.9a	3.0~421.0	15.1a	1.0~52.0	67.5a	15.6~88.2
人工湿地	72	60.2a	13.0~725.0	15.4a	1.0~40.9	66.6a	16.3~87.4
技术模式	样本数 <i>n</i>	TN 进水浓度/mg·L ⁻¹		TN 出水浓度/mg·L ⁻¹		去除率/%	
		平均浓度	变化范围	平均浓度	变化范围	平均去除率	变化范围
AO 一体化	70	27.8a	1.8~76.6	12.9b	2.0~42.0	55.6b	18.6~84.5
生物滤池	82	28.1a	1.9~113.0	10.2a	0.9~55.0	61.5c	17.2~86.4
生物转盘	68	28.5a	1.3~120.0	12.6b	1.0~52.0	57.2b	19.4~85.5
人工湿地	72	29.5a	1.4~152.0	16.3c	1.0~40.9	39.9a	13.2~78.3

注:同列中不同的字母表示在 $P=0.05$ 水平上差异显著,下同。

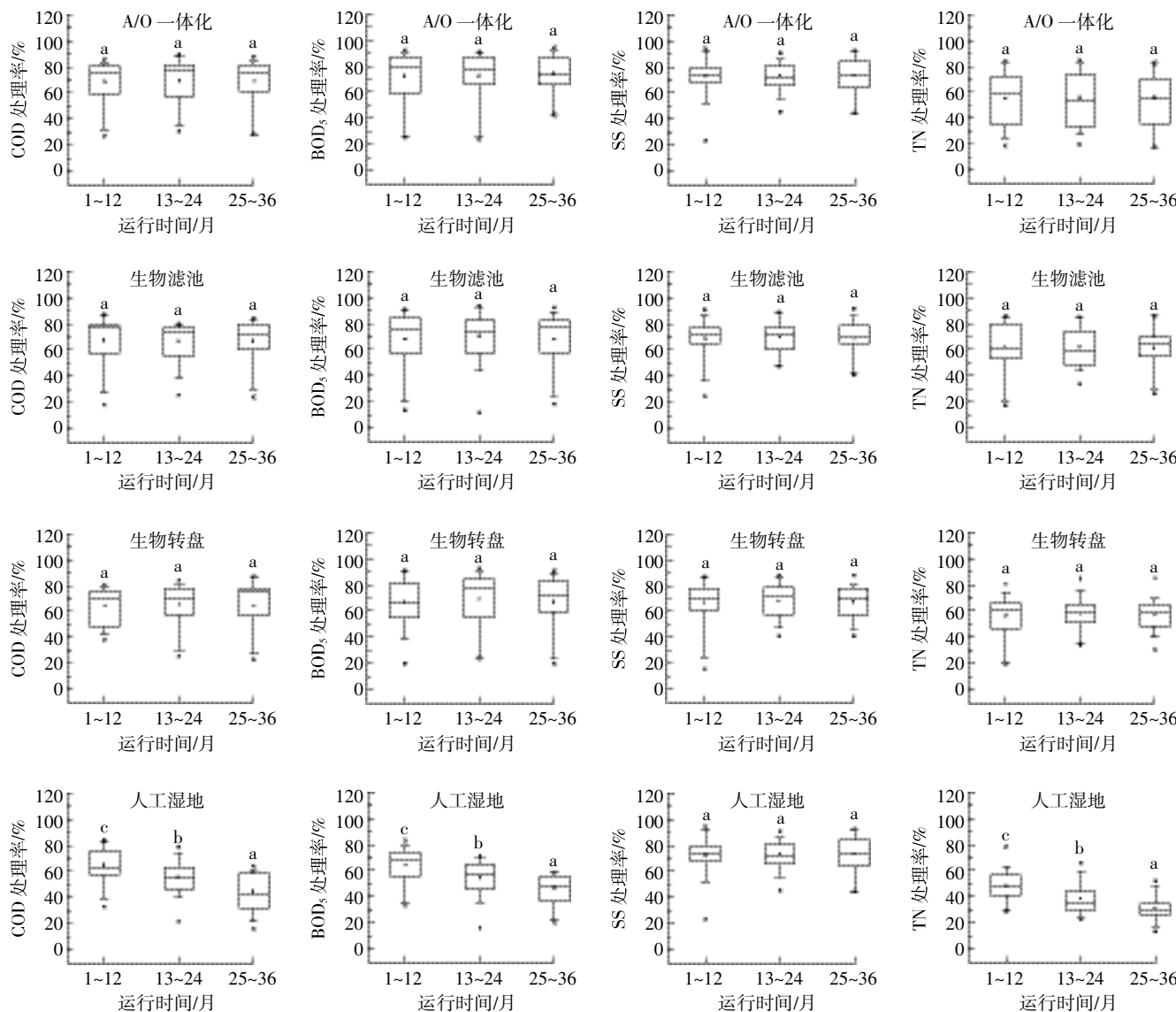


图5 4种处理工艺在不同运行年限条件下的污染物去除率比较

Figure 5 Comparison of pollutants removal efficiency of 4 kinds of technology in different service periods

大,为明确各处理工艺在不同气温条件下的去除率变化,现将水质取样时间分为11月一次年4月的低温期和5月至10月的高温期2个时间段进行比较分析。从图6可以看出,各处理工艺在低温期和高温期的SS去除率差异不明显,但是COD、BOD₅、TN的去除率差异较大,其中A/O一体化工艺差异相对较小,而生物滤池工艺差异最大,生物滤池工艺低温期COD、BOD₅和TN的平均去除率分别为55.2%、57.5%和53.8%,而高温期则分别达78.5%、80.4%和69.3%。

3 讨论

A/O一体化、生物滤池、生物转盘和人工湿地是宁波市世行农村污水项目主要采用的4种处理工艺,

不同处理工艺在动力条件、工艺原理、建设与运行维护成本等各方面均存在差异。根据表1可以看出,在进水浓度相似情况下,A/O一体化、生物滤池、生物转盘各污染物去除率均要显著大于人工湿地工艺,这主要因为A/O一体化、生物滤池、生物转盘工艺采用有动力方式,而人工湿地工艺一般采用无动力方式,可见采用有动力方式能大幅度提高污染物去除率^[10-11]。

从各污染物处理效果分析,A/O一体化工艺的有机物去除效果较好,而生物滤池和生物转盘的TN去除效果相对较好,这主要与其工艺原理有关。A/O一体化与活性污泥法相似,具备较好的有机物去除效果^[12-13],而生物滤池和生物转盘采用生物膜法原理,一般认为生物膜法在脱氮除磷方面效果更佳^[14-15]。进一

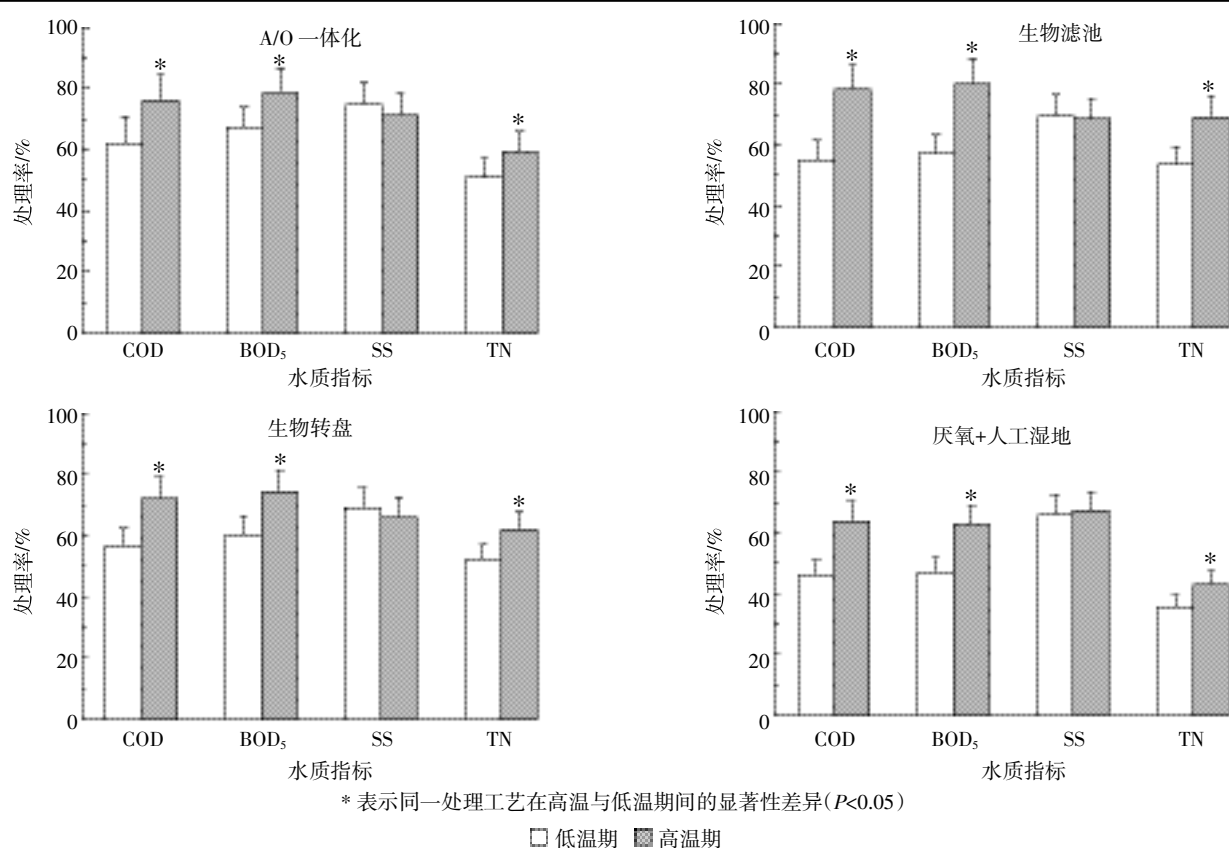


图 6 不同温度条件下 4 种处理工艺的污染物去除率比较

Figure 6 Comparison of pollutants removal efficiency of 4 kinds of technology in different temperatures

步分析各工艺的污染物排放达标率,从表 2 可以看出,在运行和维护正常情况下,A/O 一体化、生物滤池和生物转盘工艺的综合达标率分别为 94.3%、95.1% 和 95.6%,而人工湿地工艺的综合达标率为 87.5%。另外,从各处理工艺的终端处理设施建设维护成本分析,A/O 一体化、生物滤池、生物转盘工艺要高于人工湿地工艺。

从图 5 可以看出,A/O 一体化、生物滤池和生物转盘工艺在运行和维护正常情况下,COD、BOD₅、SS

和 TN 等污染物处理效果均较为稳定,没有随着运行年限的延长而出现去除率下降趋势,这一方面可以看出这 3 种处理工艺的运行稳定性,另一方面也应充分认识到农村生活污水处理后续运行维护管理的重要性^[16-17]。人工湿地工艺的 COD、BOD₅ 和 TN 污染物去除率随着运行年限的延长,污染物去除率下降趋势比较明显,这主要与人工湿地后期运行中未更换填料介质有关^[18-19]。

外界气温是影响农村生活污水处理工艺污染物去除率的关键因素之一^[20-21],从图 6 可以看出,4 种工艺在低温期的 COD、BOD₅ 和 TN 去除率均要低于高温期,但影响程度不一致,其中生物滤池受外界气温影响最大,A/O 一体化工艺相对较小。从 4 种工艺的建设安装分析,A/O 一体化工艺的厌氧和好氧系统部分一般埋在地下,利用地热受外界温度影响相对较小,而生物滤池的滴滤池和循环池均放在室外,冬季低温条件下受外界温度影响相对较大,从而导致生物膜的微生物转化作用得到限制。

总体上看,A/O 一体化工艺运行稳定性较好、有机污染物去除率较高、受运行年限和外界温度影响也

表 2 宁波地区 4 种农村生活污水处理工艺的污染物排放达标率 (%)

Table 2 Pollutant discharge standard rate of 4 kinds of rural domestic sewage treatment technology in Ningbo area (%)

工艺名称(样本数)	COD 达标率	BOD ₅ 达标率	SS 达标率	TN 达标率	综合 达标率
A/O 一体化(n=70)	97.1	94.3	94.3	100	94.3
生物滤池(n=82)	97.6	96.3	95.1	98.8	95.1
生物转盘(n=68)	98.5	97.1	95.6	97.1	95.6
人工湿地(n=72)	94.4	97.2	88.8	87.5	87.5

注:参照《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的二级标准,其中宁波市环保局出台文件规定 TN ≤ 25 mg·L⁻¹。

相对较小,但后续运行管理相对复杂;生物滤池和生物转盘的TN去除率相对较高,但受外界温度影响相对较大,低温期污染物处理效率偏低,后续运行管理也相对复杂;人工湿地工艺的各污染物去除率相对偏低,而且随着运行年限的延长污染物去除率呈现明显下降趋势,但人工湿地建设和运行维护费用相对偏低。

4 结论

本研究选择宁波地区采用A/O一体化、生物滤池、生物转盘和人工湿地等4种典型农村生活污水处理工艺的48处工程为研究对象,通过对各处理工艺终端处理设施进出水污染物浓度的水质跟踪监测,进行各处理工艺污染物多年平均去除率和稳定性比较分析,可以得出结论如下:

(1)从4种处理工艺的污染物多年平均去除率比较看,COD、BOD₅、SS的平均去除率大小顺序均为A/O一体化>生物滤池>生物转盘>人工湿地,TN的平均去除率大小顺序为生物滤池>生物转盘>A/O一体化>人工湿地,其中A/O一体化、生物滤池和生物转盘工艺的COD、BOD₅、TN去除率均显著高于人工湿地工艺。

(2)从运行年限对处理工艺污染物去除率影响比较看,A/O一体化、生物滤池和生物转盘工艺随着终端处理设施运行年限的延长,COD、BOD₅、SS、TN等污染物去除率均保持稳定,而人工湿地工艺的COD、BOD₅、TN去除率均呈现明显的下降趋势,SS去除率未发生明显变化。

(3)从外界气温对处理工艺污染物去除率影响比较看,各处理工艺在低温期(11月—次年4月)和高温期(5月—10月)的SS处理差异不明显,但是各处理工艺的COD、BOD₅、TN去除率在低温期明显低于高温期,其中A/O一体化差异工艺相对较小,而生物滤池工艺差异最大。

参考文献:

- [1] 马鲁铭,王云龙,刘志刚,等.南方农村生活污水处理目标及工艺模式探讨[J]. 中国环境科学, 2013, 33(1):118-122.
MA Lu-ming, WANG Yun-long, LIU Zhi-gang, et al. Discussion on objective of rural domestic wastewater treatment and technology system in Southern China[J]. *China Environmental Science*, 2013, 33(1):118-122. (in Chinese)
- [2] Jin L Y, Zhang G M, Tian H F. Current state of sewage treatment in China[J]. *Water Research*, 2014, 66:85-98.
- [3] 吴迪,高贤彪,李玉华,等.两级回流生物膜工艺处理农村生活污水效果[J]. 农业工程学报, 2013, 29(1):218-224.
WU Di, GAO Xian-biao, LI Yu-hua, et al. Treatment effect of rural domestic sewage in rural area using biofilm with two-stage reflux[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(1):218-224. (in Chinese)
- [4] 沈丰菊,张克强,李军幸,等.基于模糊积分模型的农村生活污水处理模式综合评价方法[J]. 农业工程学报, 2014, 30(15):272-280.
SHEN Feng-ju, ZHANG Ke-qiang, LI Jun-xing, et al. Evaluation method for engineering technology of rural domestic sewage treatment based on fuzzy integral model[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2014, 30(15):272-280. (in Chinese)
- [5] Li Y H, Li H B, Xu X Y, et al. Application of subsurface wastewater infiltration system to on-site treatment of domestic sewage under high hydraulic loading rate[J]. *Water Science and Engineering*, 2015, 8(1):49-54.
- [6] Mengistu M G, Simane B, Eshete G, et al. A review on biogas technology and its contributions to sustainable rural livelihood in Ethiopia[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, 48:306-316.
- [7] 张悦,段华平,孙爱玲,等.江苏省农村生活污水处理技术模式及其氮磷处理效果研究[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(1):172-178.
ZHANG Yue, DUAN Hua-ping, SUN Ai-ling, et al. Rural sewage treatment techniques mode and purifying effect of nitrogen and phosphorus in Jiangsu Province, China[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2013, 32(1):172-178. (in Chinese)
- [8] 刘晓璐,牛宏斌,闫海,等.农村生活污水生态处理工艺研究与应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(9):184-191.
LIU Xiao-lu, NIU Hong-bin, YAN Hai, et al. Research and application of high-efficiency eco-engineering rural sewage treatment system[J]. *Transactions of the Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(9):184-191. (in Chinese)
- [9] 国家环境保护总局.水和废水监测分析方法(第4版)[M].北京:中国环境科学出版社,2002.
State Environment Protection Administration. Water and wastewater monitoring and analysis methods(the 4th edition)[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2002. (in Chinese)
- [10] 徐威,李镭,刘畅.农村生活污水处理稳定曝气系统[J]. 环境工程学报, 2014, 8(6):2473-2477.
XU Wei, LI Lei, LIU Chang. Stable aeration system for treating rural sewage[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2014, 8(6):2473-2477. (in Chinese)
- [11] Liu J, Lu Z B, Zhang J, et al. Phylogenetic characterization of microbial communities in a full-scale vermifilter treating rural domestic sewage[J]. *Ecological Engineering*, 2013, 61:100-109.
- [12] 梁建军,阳琪琪,何强,等.A/O一体化生物接触氧化工艺的除污特征分析[J]. 中国给水排水, 2013, 29(3):14-16.
LIANG Jian-jun, YANG Qi-qi, HE Qiang, et al. Analysis on pollutant removal performance of integrated A/O bio-contact oxidation reactor[J]. *China Water and Wastewater*, 2013, 29(3):14-16. (in Chinese)
- [13] Bahar S, Ciggin A S. A simple kinetic modeling approach for aerobic stabilization of real waste activated sludge[J]. *Chemical Engineering*

- Journal*, 2016, 303:194–201.
- [14] 周 律, 李 贺, SHIN S K, 等. 生物膜复合系统脱氮除磷的特征及微生物群落结构分析[J]. 环境科学学报, 2012, 32(6):1312–1318.
ZHOU Lu, LI Ge, SHIN S K, et al. Characteristic of nitrogen and phosphorus removal and microbial community structure in hybrid biofilm system[J]. *Acta Science Circumstantiae*, 2012, 32(6):1312–1318. (in Chinese)
- [15] Ma D H, Chen L J, Liu C, et al. Biological removal of antiandrogenic activity in gray wastewater and coking wastewater by membrane reactor process[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2015, 33:195–202.
- [16] 马静颖, 詹建益. “五水共治”背景下浙江省农村生活污水处理现状分析研究[J]. 环境科学与管理, 2016, 41(2):64–68.
MA Jing-ying, ZHAN Jian-yi. Status of rural domestic sewage treatment in Zhejiang province [J]. *Environmetal Science and Management*, 2016, 41(2):64–68. (in Chinese)
- [17] Massoud M A, Tareen J, Tarhini A, et al. Effectiveness of wastewater management in rural areas of developing countries: A case of Al-Chour Gaza in Lbanon[J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2010, 161(1):61–69.
- [18] 史鹏博, 朱洪涛, 孙德智. 人工湿地不同填料组合去除典型污染物的研究[J]. 环境科学学报, 2014, 34(3):704–711.
SHI Peng-bo, ZHU Hong-tao, SUN De-zhi. Removal efficiency of typical pollutants by different substrate combinations for constructed wetlands [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, 34 (3):704–711. (in Chinese)
- [19] Lu S B, Zhang X L, Wang J H, et al. Impacts of different media on constructed wetlands for rural household sewage treatment[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 127:325–330.
- [20] 张跃峰, 刘慎坦, 谢祥峰, 等. 人工湿地处理农村生活污水的脱氮影响因素[J]. 江苏大学学报(自然科学版), 2011, 32(4):487–491.
ZHANG Yue-feng, LIU Shen-tan, XIE Xiang-feng, et al. Nitrogen removal of rural domestic sewage in subsurface constructed wetlands[J]. *Journal of Jiangsu University(Natural Science Edition)*, 2011, 32(4):487–491. (in Chinese)
- [21] Leju J, Ladu C, Lu X W. Effects of hydraulic retention time, temperature, and effluent recycling on efficiency of anaerobic filter in treating rural domestic wastewater[J]. *Water Science and Engineering*, 2014, 7(2):168–182.