

水解酸化+水力增氧床+人工湿地组合工艺处理生活污水的试验研究

余谱颖¹, 邓 风^{1*}, 徐 华¹, 管 苏², 黄思琦², 艾乐仙¹

(1. 南京工业大学环境学院, 江苏 南京 210000; 2. 南京工业大学城建学院, 江苏 南京 210000)

摘要:研究了水解酸化-水力增氧床-人工湿地组合工艺对实际生活污水中 COD、NH₄⁺-N、TN、TP 和浊度的去除效果。结果表明,组合工艺对污水中 COD、NH₄⁺-N、TN、TP 和浊度的去除效果显著,平均去除率分别为 94.3%、92.0%、60.3%、83.6%、93.4%,出水满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准,可用于中水回用。

关键词:水解酸化;水力增氧床;人工湿地;组合工艺;去除率

中图分类号:X703

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2018)01-0118-03

DOI:10.16606/j.cnki.issn 0253-4320.2018.01.027

Experimental research on treatment of domestic sewage by combined process of hydrolysis acidification+hydraulic aeration bed+artificial wetland

SHE Pu-ying¹, DENG Feng^{1*}, XU Hua¹, GUAN Su², HUANG Si-qi², AI Le-xian¹

(1.Environmental College, Nanjing Tech University, Nanjing 210000, China;

2.College of Urban Construction, Nanjing Tech University, Nanjing 210000, China)

Abstract: The removal effect of COD, NH₄⁺-N, TN, TP and turbidity in domestic sewage by a combined process with hydrolysis acidification, hydraulic aeration bed and artificial wetland is studied. The results show that the average removal efficiencies of COD, NH₄⁺-N, TN, TP and turbidity are 94.3%, 92.0%, 60.3%, 83.6% and 93.4% respectively, revealing that the combined process has an excellent removal effect. The treated water can meet the level A standard in China's "Standard of Pollutant Emission of Urban Sewage Treatment Plant (GB 18918—2002)", and can be used in domestic way.

Key words: hydrolysis acidification; hydraulic aeration bed; artificial wetland; combined process; removal rate

随着我国城镇化水平的不断提高,城市人口迅速增长,城市的规模也在不断扩大,全国村镇从 1978 年的 2178 个增加到迄今为止的近 5 万多个^[1-2]。与此同时,村镇的水环境受到前所未有的严峻挑战,我国不少村镇由于污水处理设施建设严重滞后,水体污染已经成为制约当地社会和经济发展的“瓶颈”^[3]。因此,重视村镇生活污水处理问题,改善生态环境,已成为村镇经济建设中的重中之重。水解酸化池、水力增氧床作为生物膜反应器,具有占地面积小,工艺流程简单,生物多样性高,抗冲击能力强,运行费用低,污泥产生量少等优点,在污水处理中得到广泛地运用,但由于水解酸化池和水力增氧床很难形成良好的厌氧/好氧交替环境,故 2 个系统对 TN 和 TP 的去除效果较差。人工湿地作为生态处理方法,能够通过一系列物理、化学、生物途径对特定污染物高效去除,具有低投资、低运行费用、低耗能和美观等特点,已被广泛运用于污水处理和水环境富营养化的防治中^[4]。

水解酸化池-水力增氧床-人工湿地是一种生化处理方法与生态处理方法相结合的处理工艺,可以弥补单一工艺处理污水不能达标排放的缺点。笔者通过对水解酸化池-水力增氧床-人工湿地组合工艺处理实际生活污水的试验研究,考察了组合工艺对污水中的 COD、NH₄⁺-N、TN、TP 和浊度的去除效果。

1 试验水质及方法

1.1 试验水质

试验污水采用实际生活污水,实际生活污水取自南京工业大学综合实验楼下化粪池出水检查井中的污水,试验进水水质如表 1 所示。

表 1 试验进水水质浓度

| 水质指标 | 实际污水 | 水质指标 | 实际污水 |
|---|-------------|--------------------------|------------|
| COD _{Cr} /(mg·L ⁻¹) | 168~336 | TP/(mg·L ⁻¹) | 1.80~5.83 |
| NH ₄ ⁺ -N/(mg·L ⁻¹) | 16.84~33.80 | 浊度/NTU | 40.0~119.7 |
| TN/(mg·L ⁻¹) | 28.6~61.5 | pH | 6.24~8.55 |

收稿日期:2017-07-05

作者简介:余谱颖(1993-),男,硕士研究生,主要研究方向为生活污水处理及城市污泥资源化利用,479941613@qq.com;邓风(1970-),女,博士,教授,主要研究方向为水污染控制,通讯联系人,dengf99@126.com。

1.2 试验方法

试验中各指标的具体测定方法参考《水和废水监测分析方法》(第四版)^[5],主要试验分析指标和分析方法如表2所示。

表2 分析项目与方法

| 序号 | 分析项目 | 分析方法 |
|----|---------------------------------|----------------|
| 1 | COD _{Cr} | 重铬酸钾法 |
| 2 | NH ₄ ⁺ -N | 纳氏试剂-紫外分光光度法 |
| 3 | TN | 碱性过硫酸钾-紫外分光光度法 |
| 4 | TP | 过硫酸钾-钼锑抗分光光度法 |
| 5 | 浊度 | 浊度仪 |
| 6 | pH | 玻璃电极法 |

2 试验装置及运行参数

村镇生活污水处理工艺流程如图1所示。

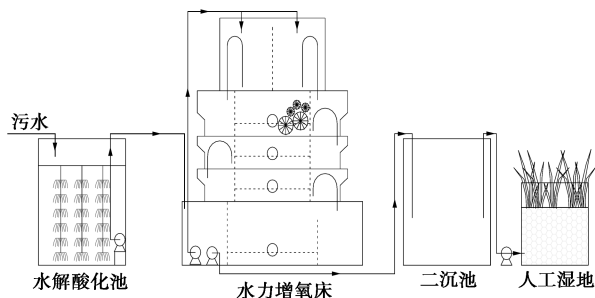


图1 村镇生活污水处理工艺流程

2.1 水解酸化池

水解酸化池采用容积150 L蓝色塑料大桶,桶内竖直方向设置5串组合填料,每串6片填料,单元直径 $\Phi 80$ mm,间距为100 mm,中心绳为塑料绳。组合填料购于宜兴仁源环保设备有限公司,其结构是将塑料圆片压扣改成双圈大塑料环,将醛化纤维或涤纶丝压在环的环圈上,使纤维束均匀分布;内圈是雪花状塑料枝条,表面积大易于挂膜。桶内放置1台潜污泵,用于将水解酸化后的污水泵入水力增氧床装置。水解酸化池进水量为75 L/d,水力停留时间为6 h。

2.2 水力增氧床

采用自发研制的水力增氧床,增氧床由水箱、3级浅层床和蓄水池组成。水箱内设置出水虹吸管,控制填料暴露大气中复氧时间。浅层床设有进出水虹吸管,虹吸管吸水口位于浅层床底部。每级浅层床填料区底部均铺1层 $\Phi 50$ mm的填料,上面再铺5~6层 $\Phi 25$ mm的填料。蓄水池填料区铺设4

层 $\Phi 50$ mm的填料,其上面压有条状碎石袋,防止填料因上级浅层床虹吸出水及水泵抽水而自由移动。虹吸管设计时保证每层床内污水排空和再次充水之间有一段无水间歇期,则该层填料可完全暴露于大气之中,实现大气复氧。水力增氧床的水力停留时间为6 h。

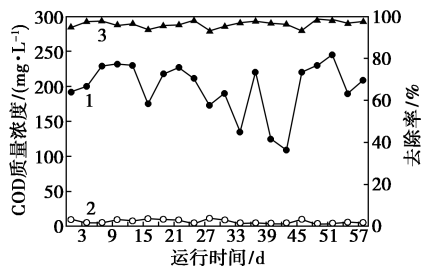
2.3 人工湿地

试验中采用 $L \times B \times H = 40 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ 人工湿地池,选取水莎草人工湿地作为组合工艺中的生态处理工艺,水莎草种植密度为80株/ m^2 。其中开始运行28 d中水莎草湿地水力停留时间为36 h;运行第29 d后,水莎草湿地水力停留时间为18 h。湿地进水采用上行垂直流方式,在距池底部2 cm处设进水口,距池顶2 cm处设出水口。填料选用建材废料——加气块碎料,经加工为2~5 cm粒径,填充高度为25 cm。

3 试验讨论与分析

3.1 组合工艺对COD的去除效果

组合工艺对COD的去除效果如图2所示。由图2可以看出,水解酸化池-水力增氧床-人工湿地组合工艺对COD的去除效果明显,出水COD质量浓度波动范围很小,工艺运行稳定。COD的去除主要依靠水力增氧床内生物膜异样菌的代谢作用。在试验期间进水COD质量浓度范围为109.1~245.6 mg/L,出水COD质量浓度范围为3.2~15.6 mg/L,平均去除率为94.3%,出水COD浓度满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级A标准。



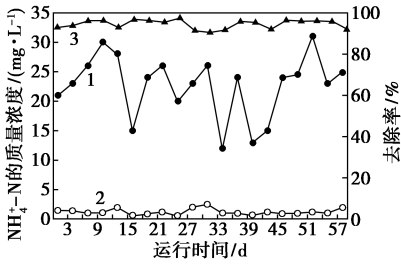
1—进水质量浓度;2—出水质量浓度;3—去除率

图2 组合工艺对COD的去除效果

3.2 组合工艺对NH₄⁺-N的去除效果

水解酸化池-水力增氧床-人工湿地组合工艺对NH₄⁺-N的去除效果如图3所示。从图3可以看出,进水NH₄⁺-N质量浓度范围为11.90~30.84 mg/L,出水NH₄⁺-N质量浓度范围为0.53~2.50 mg/L,平

均去除率为 92.0%，出水 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除主要归功于水力增氧床高效的复氧能力及生物膜法上较长的污泥龄，使硝化细菌处于有利的硝化环境。

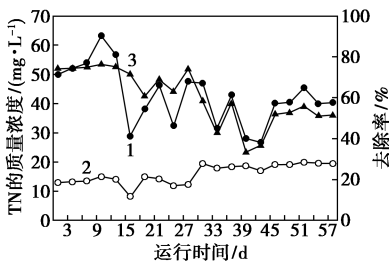


1—进水质量浓度;2—出水质量浓度;3—去除率

图 3 组合工艺对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的去除效果

3.3 组合工艺对 TN 的去除效果

水解酸化池-水力增氧床-人工湿地组合工艺对 TN 的去除效果如图 4 所示。由图 4 可以看出，进水 TN 质量浓度范围为 26.8~56.7 mg/L，出水 TN 质量浓度范围为 8.2~19.5 mg/L，平均去除率为 60.3%。运行第 29 d 后水莎草湿地采用 HRT 为 36 h，湿地运行中后期出水 TN 质量浓度满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准。前 28 d 内相同的水莎草湿地采用 HRT 为 18 h 进行试验，出水 TN 质量浓度有明显升高，基本所有点均高出《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准中规定的 TN 排放质量浓度。因此，较短的 HRT 对水莎草湿地 TN 的去除不利。尽管水力增氧床对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 去除率较高，水中含有较高的硝态氮，但本身好氧环境难以对硝态氮进行反硝化，当较高浓度的硝氮进入人工湿地后，湿地内稳定的生物量及生长旺盛的植物对 TN 有较好的去除效果。



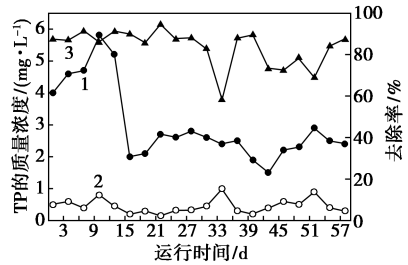
1—进水质量浓度;2—出水质量浓度;3—去除率

图 4 组合工艺对 TN 的去除效果

3.4 组合工艺对 TP 的去除效果

组合工艺对 TP 的去除效果如图 5 所示。由

图 5 可以看出，水解酸化池-水力增氧床-人工湿地组合工艺具有较高的抗 TP 冲击负荷。进水 TP 质量浓度范围为 1.42~5.80 mg/L，出水 TP 质量浓度范围为 0.16~0.88 mg/L，平均去除率为 83.6%。出水中 5 个点浓度略高于《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 一级 A 标准中规定的 TP 排放浓度。TP 的去除主要依靠人工湿地内填料对磷的吸附及磷酸根离子的沉淀反应而去。

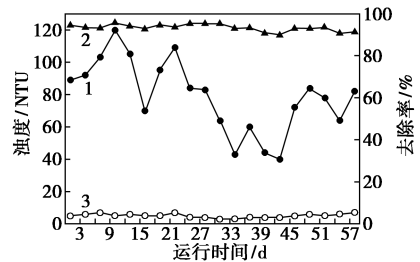


1—进水质量浓度;2—出水质量浓度;3—去除率

图 5 组合工艺对 TP 的去除效果

3.5 组合工艺对浊度的去除效果

水解酸化池-水力增氧床-人工湿地组合工艺对浊度的去除效果如图 6 所示。由图 6 可以看出，进水浊度范围为 40.0~119.7 NTU，出水浊度范围为 1.1~5.6 NTU，平均去除率为 93.4%。经水解酸化池预处理，污水中大颗粒杂质被组合填料截留及沉淀去除，之后进入水力增氧床，生物膜对浊度也有较高的去除效果，最后流经湿地，被多孔粗糙的填料截留，密集的植物根系吸附及微生物降解，出水浊度达到较低的水平。



1—进水质量浓度;2—出水质量浓度;3—去除率

图 6 组合工艺对浊度的去除效果

4 结论

主要介绍了水解酸化池-水力增氧床-人工湿地组合工艺处理村镇生活污水的处理效果，并对 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、TN、TP 污染指标去除情况进行分析，主要结论如下：

(下转第 122 页)

1 g NaNO₃ 固体,磁力搅拌均匀后加 98 mL 浓硫酸,再逐渐加 6 g 高锰酸钾;20 min 后,转移溶液至 35℃ 恒温水浴中;24 h 后,再转移至冰水浴中,加 120 mL 蒸馏水和 5 mL H₂O₂,溶液变为亮黄色。先用 5% HCl 溶液离心洗涤上述溶液至 BaCl₂ 溶液检测不出 SO₄²⁻,再用蒸馏水洗涤至上层离心液为透明清液。将产物移入真空干燥箱中常温干燥数天,超声配制 10 mg/mL 的氧化石墨烯分散液。

1.2 GO/TiO₂ 的制备

在标有 1、2、3、4 号的 250 mL 的烧杯中各加入一定量的钛酸丁酯和无水乙醇的混合液,再分别加入 2、6、10、14、18、22 mL 上述 10 mg/mL 的石墨烯分散液,混合均匀后再加 5% 的 HCl 溶液,得浅黑色溶胶,静置后得浅黑色凝胶,陈化数日。将陈化后的产品离心洗涤至上层为无色清液,干燥后在不同温度下焙烧,研磨备用。

1.3 GO/TiO₂ 复合物的表征

利用 X 射线衍射仪(XRD, D8 Advance 型,德国 Bruker 公司生产)分析样品的晶相和组成(CuKα 射线,石墨单色器,工作电压为 40 kV,工作电流为 30 mA);利用扫描电子显微镜(SEM, EVO-LS 15 型,德国卡尔蔡司生产)对样品的形貌进行观察;样品的光吸收性能在紫外-可见光谱仪(UV-Vis DRS, Cary 5000 型,美国安捷伦生产)上进行。

1.4 光催化性能测试

取 50 mL 10 mg/L 亚甲基蓝溶液,加适量 GO/TiO₂,室温搅拌条件下,避光吸附 30 min。开启紫外灯(30 W,主波长 253.7 nm),每隔 1 h 取 1 次样,上层清液用可见分光光度计(T22S 型)测其在最大吸收波长(664 nm)处的吸光度。降解率为:

$$\eta = [(A_0 - A_t)/A_0] \times 100\%$$

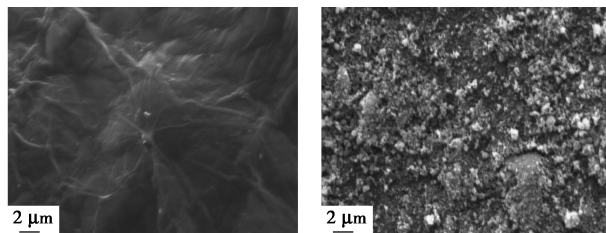
式中:A₀ 为避光吸附后的吸光度;A_t 为光照 t 时间

后的吸光度。

2 结果与讨论

2.1 结构与性能表征

GO 及 GO/TiO₂ 复合物的 SEM 图如图 1 所示,氧化石墨烯的 XRD 谱图如图 2 所示。由图 1(a) 可以看出,GO 为均匀的薄层状结构,片层的长厚比很大,表面不平整,有褶皱,预示其有较大的比表面积。由图 2 可以看出,2θ = 10.3、19.3° 处的衍射峰对应 GO 的特征峰,此外,还可观察到几处很弱的衍射峰。这一方面是由于仍有少量石墨未氧化;另一方面,Hummers 法合成的氧化石墨烯至少存在有—OH、—COOH、—C=O、—CH(O)CH—等官能团。氧化石墨烯虽然被充分干燥,但仍然存在水分子,很容易与上述水分子形成氢键,导致有弱杂质峰出现。反之,由于 GO 表面的官能团大大增加了其亲水性,有利于与其他材料的复合。



(a) GO (b) GO/TiO₂
图 1 样品的 SEM 图像

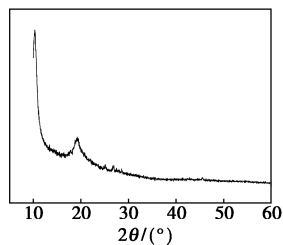


图 2 氧化石墨烯的 XRD 谱图

水回用。

参考文献

- [1] 邵林广,丁德才.小城镇污水处理的现状与展望[J].工业安全与环保,2008,34(8):25-26.
- [2] 孙亮.村镇污水处理应体制先行[OL].www.chinajsb.cn,2011.
- [3] Justin M Z, Vrhovsek D, Stuhlbacher A, et al. Treatment of wastewater in hybrid constructed wetland from the production of vinegar and packaging of detergents[J]. Sciencedirect, 2009, 246: 100-109.
- [4] 胡世琴.人工湿地不同植被净化污水效果及其氮磷累积研究[J].水土保持研究,2017,(1):200-206.
- [5] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会.水和废水监测分析方法:第四版[M].北京:中国环境科学出版社,2002. ■

(上接第 120 页)

(1)在运行期间该组合工艺对 COD 和 NH₄⁺-N 去除效果好且稳定,出水满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。

(2)组合工艺中采用 HRT = 36 h 的水莎草湿地对 TN 的去除效果较好,出水满足《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。

(3)组合工艺具有较高的抗 TP 冲击负荷,在运行期间,基本能保证出水达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)一级 A 标准。

(4)组合工艺对浊度去除率高,出水可考虑中