

分散式生活污水处理工艺 :DASB + W-SFCW 联合工艺

季俊杰 ,何成达 ,葛丽英 ,钱小青 ,谈 玲

(扬州大学环境科学与工程学院 江苏 扬州 225009)

摘要 提出了“ DASB + W-SFCW ”联合工艺 ,并运用该工艺对分散式生活污水进行了处理试验研究。DASB 单元采用短时厌氧技术 ,去除颗粒有机物和部分溶解有机物 ,防止 W-SFCW 堵塞 ,保证 W-SFCW 单元脱氮所需的碳源。W-SFCW 床优化了传统潜流人工湿地的水流流态 ,使污水在 W-SFCW 床内呈波式流动 ,充分地发挥了湿地系统降解污染物的能力。试验结果表明 :“ DASB + W-SFCW ”联合工艺对生活污水具有较强的处理能力 ,当进水中 COD、NH₃-N、TP 的平均质量浓度分别为 268 mg/L、31.5 mg/L、5.5 mg/L 时 ,其平均去除率分别达到 80.7%、52.1%、89.7% ,出水水质优于传统的二级生物处理工艺。

关键词 降流式厌氧紊动床 ;潜流人工湿地 ;生活污水 ;污水处理

中图分类号 X703 **文献标识码** A **文章编号** 1004-693X(2006)03-0056-04

A decentralized sewage treatment process : Combined technology of DASB & W-SFCW

Ji Jun-jie , HE Cheng-da , GE Li-ying , QIAN Xiao-qing , TAN Ling

(College of Environmental Science and Engineering , Yangzhou University , Yangzhou 225009 , China)

Abstract A combined technology of DASB (Down-flow Anaerobic Suspending Bed) and W-SFCW (Wavy Subsurface Flow Constructed Wetland) was presented and applied to the experimental study on decentralized domestic sewage treatment. DASB can remove the organic particle by its short-time anaerobic technology , thus preventing W-SFCW from jamming and affording enough carbon for denitrification. Compared with traditional SFCW , W-SFCW has the advantage of optimal flow regimes , and the wastewater in the bed flows wavyly , thus increasing the efficiency of constructed wetland. The experiment shows that the DASB & W-SFCW technology is excellent in the treatment of domestic sewage. When the concentration of COD , NH₃-N and TP in influent was 268 mg/L , 31.5 mg/L and 5.5 mg/L respectively , the corresponding removal rates were 80.7% , 52.1% and 89.7% . The water quality of effluent of DASB & W-SFCW is better than that of traditional bio-treatment technology .

Key words :down-flow anaerobic suspending bed (DASB) ; subsurface flow constructed wetland ; domestic sewage ; wastewater treatment

随着经济的快速发展及城市化进程的加快 ,我国生活污水排放量呈逐年递增趋势。尽管城市污水处理率在逐年增加 ,但只是在大中型城市大量兴建城市污水处理厂 ,使大中型城市污水处理率提高。而经济相对落后的中小城镇和广大农村(以下称村镇) ,污水处理率却很低 ,缺乏配套的污水处理设施 ,分散排放的污水成为村镇水体污染的重要原因之

一。所以 ,解决分散的村镇生活污水污染问题在目前显得尤为紧迫和重要。

村镇与城市相比 ,具有居住分散 ,经济实力弱 ,污水日排放量小 ,水质波动大 ,缺乏污水处理、运行管理专业技术人员 ,土地资源较丰富等特点。本研究针对分散型村镇污水的特点 ,以厌氧处理和人工湿地处理理论为基础^[1-4] ,提出“ DASB(即降流式厌

氧紊动床 ,Down - flow Anaerobic Suspending Bed) + W-SFCW(即波流潜流人工湿地 ,Wavy Subsurface Flow Constructed Wetland)”联合工艺。DASB 单元采用短时厌氧技术 ,主要去除颗粒有机物和部分溶解有机物 ,防止 W-SFCW 堵塞 ;W-SFCW 是在传统的潜流人工湿地的基础上加以改进而成的 ,可以使湿地床内的水力流态更合理 ,使微生物、基质、植物根系与污水的接触更加充分 ,提高处理效率 ,节约用地。试验结果表明 ,该联合工艺满足了分散的村镇生活污水“三低一高”(低基建费用、低运行费用、低维持技术的高处理效率)的技术要求。

1 试 验

1.1 试验装置

试验场地占地 30 m² ,试验时间从 2003 年 3 月至 2004 年 10 月 ,历时 20 个月 ,启动阶段 5 个月 ,稳定运行阶段 15 个月。图 1 为试验装置。

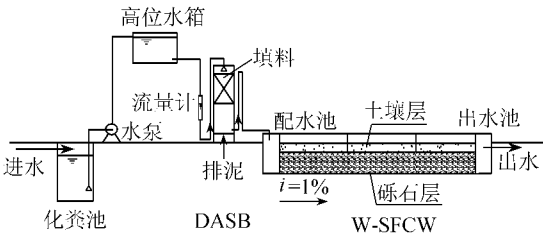


图 1 试验系统流程

a. DASB。DASB 为钢结构 ,高 2.0 m ,直径 0.3 m ,内装悬浮填料($\phi 25$ mm 空心塑料球) ,有效容积 113L ,填料所占容积为 56L。

b. 湿地。试验湿地长 6.0 m ,宽 2.0 m ,总高 1.0 m。沿长度方向交替设置上下隔墙 ,隔墙间距 1.0 m。试验湿地坡度为 1%。湿地中的填料由土壤和砾石组成 ,填料床总高度为 750 mm ,填料级配情况见表 1。经实验测定床体平均孔隙率为 36%。湿地采用芦苇和美人蕉间植 ,芦苇种植密度为 6 株/m² ,每株 8~10 根 ,美人蕉种植密度为 5 株/m² ,每株 3~6 根。芦苇为附近地区野生环境下的芦苇 ,美人蕉从花卉公司购买 ,为盆栽美人蕉。

表 1 填料级配

填料	规 格	高度/mm
土壤层	土壤 90% ,石灰石(3~5 mm)10%	200
砾石层	粒径 5~20 mm 砾石	500
豆石层	粒径 30~50 mm 小豆石	50

c. 运行负荷。DASB 水力负荷为 5.6 ~ 8.5 m³/(m²·d) ,COD 质量负荷为 1.65 ~ 4.12 kg/(m²·d) ,湿地水力负荷为 40 × 10⁻³ ~ 60 × 10⁻³ m³/(m²·d) , COD 质量负荷为 4.5 ~ 13.2 g/(m²·d)。

1.2 试验水质

试验用水为化粪池出水 ,通过水泵提升至试验场地的高位水箱。各项水质指标极值及均值见表 2。

表 2 湿地进水水质指标

水质参数	$\rho(\text{COD}_{\text{Cr}})$ (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{SS})$ (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ (mg·L ⁻¹)	$\rho(\text{TP})$ (mg·L ⁻¹)	水温/ ℃	pH 值
最大值	411	532	59.1	7.8	38.3	7.2
最小值	135	83	11.7	3.7	15.1	6.5
平均值	268	316	31.5	5.5	23.1	6.8

1.3 分析项目和方法

水质分析项目有 COD ,NH₃-N ,TP ,pH 值 ,SS 等。水质分析方法按照《水和废水监测分析方法》进行。

2 结果和讨论

2.1 COD 去除

联合处理工艺在试验运行期间进出水的 COD 质量浓度变化情况见图 2。由图 2(a)可知 ,联合工艺的 COD 出水平均质量浓度为 47.5 mg/L ,平均去除率为 80.7%。其中冬季出水的 $\rho(\text{COD})$ 值较高 ,平均为 71.1 mg/L ,其他季节出水 $\rho(\text{COD})$ 平均为 41.4 mg/L。

尽管试验期间进水 COD 浓度波动较大 ,但联合工艺的出水 COD 浓度稳定 ,表明该联合工艺具有较强的耐负荷冲击能力^[5]。联合工艺冬季处理效果降低 ,与环境温度降低导致微生物活性降低有关。

联合工艺通过物理截留、生物吸附和生物降解的途径去除有机物。原水中大量颗粒物质(有机和无机颗粒)被 DASB 反应器内的悬浮填料(占 DASB 总容积的 1/2)截留 ,沉积在填料上 ,实现了颗粒物质的 SRT(固体停留时间)与 HRT(水力停留时间)分离 ,为后续微生物厌氧分解颗粒物质创造了条件。截留的颗粒物被填料上的微生物水解成可溶性有机物 ,重新释放到水中 ,为后续湿地进一步处理创造条件 ,同时也防止了颗粒污染物堵塞湿地。

根据植物根系发育特点 ,大多数根系发育于湿地表面的浅层 ,湿地系统的有氧微区主要集中于表层 ,而中、下层处于兼氧和厌氧状态。湿地内部垂直方向上有氧微区的分布差异 ,导致了在污染物降解效果的差异。W-SFCW 内的导流设施促进水流呈波形流动 ,使污染物数次经历湿地的上部及底部 ,有效地发挥了湿地降解污染物的潜力。

2.2 氨氮去除

联合工艺在试验运行期间进出水 NH₃-N 质量浓度变化情况见图 2(b)。由图 2(b)可见 ,联合工艺系统出水 NH₃-N 平均质量浓度为 13.9 mg/L ,其中冬季为 18.5 mg/L ,夏秋季为 11.5 mg/L ,系统 NH₃-N

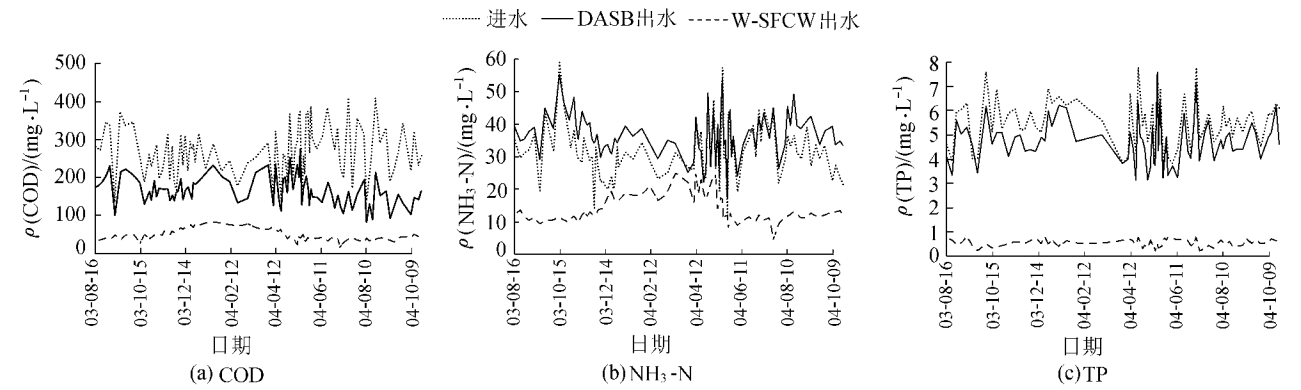


图 2 联合工艺系统进出水污染物变化情况

平均去除率为 52.1% ,其中 W-SFCW 单元平均去除率为 70.0%。

联合工艺系统出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度随季节变化幅度较大。出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度从 12 月开始逐步升高 ,一直到次年三四月份 ,尽管三四月份气温已回升 ,湿地植物开始发芽 ,出水的 COD 值已趋于正常 ,但出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度有明显的滞后性 ,间接说明硝化菌比其他微生物对温度更敏感。

运行期间 ,DASB 单元出水 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度高于进水 ,表明此阶段氨化效果显著 ,有利于后续湿地去除 $\text{NH}_3\text{-N}$ 。

W-SFCW 与传统人工潜流湿地(SFCW)比较 ,去除 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的效果较好 ,这与 W-SFCW 内部结构有关。首先 ,W-SFCW 内部结构使湿地中水流呈波形流动 ,多次经过土壤层、砾石层 ,相当于一系列串联的土壤床 - 砾石床 ,使水中的 NH_4^+ 被土壤充分吸附 ,有利于土壤中微生物去除 $\text{NH}_3\text{-N}$ 。其次 ,W-SFCW 内部结构使污水反复进行好氧 - 兼氧/厌氧状态 ,是典型的 A/O 工艺 ,而传统的 SFCW 的流态决定了有相当部分的 NH_4^+ 未能经历良好的好氧状态 ,故这部分 NH_4^+ 不能进行有效的硝化反应。因此 ,W-SFCW 具有较高的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 去除能力。

2.3 TP 去除

联合工艺试运行期间进出水 TP 质量浓度变化情况见图 2(c)。由图 2(c)可见 ,试验期间进水 TP 质量浓度的变化范围为 3.7 ~ 7.8 mg/L。联合工艺出水 TP 质量浓度随季节变化幅度不大 ,小于 1.0 mg/L ,平均为 0.55 mg/L ,平均去除率为 89.7%。

试验结果显示 ,W-SFCW 对磷具有较强的去除效果 ,湿地出水保持在较低的水平 ,说明试验采用的土壤(含 10% 石灰石) - 砾石基质除磷效果较好。

人工湿地对磷的去除是通过微生物、植物和基质等协同作用完成的^[6]。为考察基质磷沉积情况 ,借鉴土壤学的研究方法^[7-8]于 9 月中旬进行了基质磷沉积的试验。分别沿湿地水流方向等距离设 6 个

取样点位 ,分别取土壤层、砾石层和豆石层基质进行磷沉积测定。试验结果见表 3。

表 3 湿地基质的磷沉积量 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

取样 点位	土壤吸附性 磷含量	砾石酸溶性 磷含量	豆石酸溶性 磷含量
对照	1.45	5.75	0.26
1	53.47	57.05	60.04
2	45.22	45.59	33.90
3	38.84	54.29	39.28
4	30.79	105.80	72.64
5	20.56	105.76	46.92
6	29.02	80.09	55.10
平均	36.32	74.76	51.31

由表 3 可见 ,湿地中砾石层的磷沉积量大于土壤层 ,土壤层的磷沉积量沿水流方向前高后低 ,而砾石层呈前低后高 ,豆石层磷沉积规律不明显。说明 W-SFCW 在促进磷沉积方面具有显著的优势 ,其作用机理有待于进一步研究。

3 结 论

a. “ DASB + W-SFCW ”联合工艺系统在试验期间 ,当进水中 COD , $\text{NH}_3\text{-N}$,TP 的平均质量浓度分别为 268 mg/L ,31.5 mg/L ,5.5 mg/L 时 ,各污染物平均去除率分别达到 80.7% ,52.1% ,89.7% ,出水水质优于传统的二级生物处理工艺。

b. W-SFCW 床的主要特点是优化了传统潜流人工湿地的水流流态。污水在 W-SFCW 床内进行波形流动 ,使污水反复地与湿地系统中的上中下各层的微生物、根系和基质接触 ,充分地发挥了湿地系统降解污染物的能力。

c. 本试验研究是初步的 ,关于 W-SFCW 污染物降解机理、波形水流流态的优化等有待于进一步的研究。

参考文献：

[1] 白晓慧,王宝贞,余敏,等.人工湿地污水处理技术及其发展应用[J].哈尔滨建筑大学学报.1999,32(6):88-92.
[2] BRIX H. Use of constructed wetland in water pollution control :

historical development present status ,and future perspectives
[J]. Water Science Technology ,1994 30(8) : 209-223.

[3] VYMAZAL J ,BRIX H ,COOPER P F ,et al. Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe[M]. Leiden ,The Netherlands : Backhuys Publishers ,1998 :17-66.

[4] 夏汉平.人工湿地处理污水的机理与效率[J].生态学杂志 2002 21(4) 51-59.

[5] 梁继东 ,周启星 ,孙铁珩.人工湿地污水处理系统研究及

性能改进分析[J].生态学杂志 2003 22(2) 49-55.

[6] 吴晓磊.人工湿地废水处理机理[J].环境科学 ,1995 ,16 (3) 83-86.

[7] 陈刚才 ,甘露 ,王仕禄 ,等.土壤中元素磷的地球化学[J].地质地球化学 2001 29(2) :78-81.

[8] 张宝贵 ,李贵桐.土壤生物在土壤磷有效化中的作用[J].土壤学报 ,1998 35(1) :104-111.

(收稿日期 2004-11-25 编辑 徐 娟)

(上接第 55 页)

包埋菌在高温条件下也有较好的抵抗性。

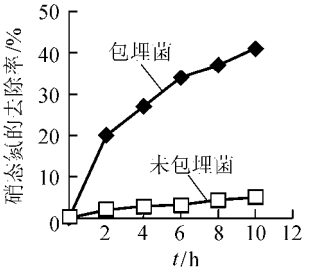


图 2 在低温下两种菌的反硝化性能

2.5 氧浓度对包埋菌和未包埋菌的影响

当对废水进行微曝气时(DO 质量浓度为 0.5 ~ 1.0 mg/L),未包埋菌的硝态氮的去除率很低 ,10h 后的硝态氮的去除率仅为 5.4% ,而同期包埋菌的去除率为 62% ,远高于未包埋菌。可能因为包埋使小球内部创造了缺氧的微环境 ,导致氧对包埋菌的抑制性较弱 ,从而使包埋菌在有氧的条件下也能保持对硝态氮较高去除率。这为实现单级生物脱氮创造了有利的条件 ,可以使硝化和反硝化在同一反应器中进行 ,有极高的应用价值。

2.6 固定化操作运行的稳定性

运行稳定是固定化技术能否实际应用的关键 ,为此 ,采用重复实验考察固定化小球的运行稳定性 ,见图 3。每个周期结束时(10 h) ,滤出固定化小球 ,用蒸馏水冲洗后再次加入到新鲜的人工配水中 ,进行新一轮操作 ,经过多次循环 ,小球的脱氮率一直保持较高的水平。可见 ,固定化操作是可行的 ,有一定实际应用价值。

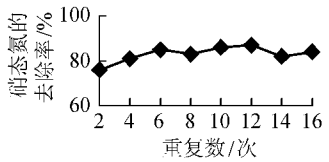


图 3 固定化小球反硝化稳定性测试

2.7 固定化小球的单级生物脱氮的可行性

由图 4 可知 ,将硝化细菌和固定化包埋的反硝化菌进行混合处理含氮氮的废水 ,对废水进行曝气 (ρ DO 为 2 mg/L 左右) ,总氮随着时间的延长而不

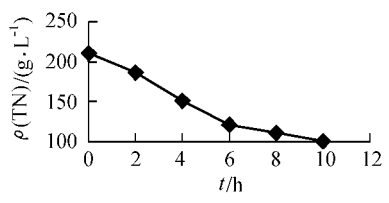


图 4 在单级脱氮中总氮随时间变化

断降低 ,10h 后 ,总氮去除率达到 52% 左右 ,这表明 :在好氧的条件下 ,氨氮被氧化为亚硝态氮和硝态氮 ,但在反硝化菌载体的内部由于传质受到影响 ,形成了缺氧区和厌氧区 ,所以反硝化菌可以将硝化细菌生成的亚硝态氮或硝态氮还原成 N_2 ,实现了单级生物脱氮 ,并且由于氧的供应有限 ,形成的亚硝态氮较多 ,可以直接还原成 N_2 ,因此可以缩短反应历程 ,提高脱氮速率 ,节省氧气和有机碳源。所以固定化的反硝化菌可以和硝化菌在同一个反应器中在好氧的条件下同时进行硝化与反硝化 ,实现单级生物脱氮。

3 结 论

通过对聚乙烯醇-硼酸固定法的改进 ,用于处理含硝态氮的废水 ,不仅在不适宜的温度、pH 值和有氧条件下均比未包埋表现出较高的反硝化活性 ,而且可以和硝化菌在好氧条件下同时进行硝化与反硝化。由于 PVA 价格低廉、无毒抗分解 ,强度稳定性高 ,因而此固定法具有一定的应用价值。

参考文献 :

[1] 杨麒 ,李小明 ,曾光明 ,等.固定化微生物脱氮技术[J].环境污染与技术 2002 2(10) :58-60.

[2] TANAKA K ,SUMINO T ,NAKAMURA H ,et al. Application of nitrification by cells immobilized in Polyethylene glycol[J]. Prog Biotechnol ,1996 ,11 622-632.

[3] 程树培.环境生物技术[M].南京 :南京大学出版社 ,1994 :111-135.

[4] 王磊 ,兰淑澄.固定化硝化菌去除氨氮的研究[J].环境科学 ,1997 ,18(2) :18-20.

[5] 国家环保局.水和废水监测分析方法[M].北京 :中国环境科学出版社 ,1998 :252-268.

[6] 孙成.环境监测实验[M].北京 :科学出版社 2003 37-39.

(收稿日期 2005-05-21 编辑 舒 建)