

复合人工湿地系统处理城市污水的降解过程

冒丽娜¹, 汤杨杨¹, 刘琴², 陆忆夏¹, 王世和¹, 乔红杰², 王为进²

(1. 东南大学 市政工程系, 南京 210096; 2. 南京江宁水务集团有限公司, 南京 211100)

摘要:在 HRT 为 4 d 并进行微曝气及添加除磷材料的条件下,对复合人工湿地系统的降解过程进行了研究。结果表明,添加除磷材料后,系统最终出水比未添加除磷材料时对 TP 的去除率平均提高了约 8.36%;TN 浓度沿流程呈下降趋势, NH₄⁺-N 浓度除在水解池出水处升高外,其余均保持与 TN 浓度相同的沿程下降趋势; COD_{Cr} 也沿程逐渐下降,湿地第一段和第二段对 COD_{Cr} 的去除起着主要作用,累计去除率约占系统总去除量的 72.78%。

关键词:复合人工湿地;城市污水;降解过程

中图分类号:X703

文献标志码:A

文章编号:1674-4764(2012)S2-0068-03

Demonstration Engineering Research on Constructed Wetland for Purifying Urban Wastewater

Maolina¹, Tangyangyang¹, Liuqin², Luyixia¹, Wangshihe¹, Qiaohongjie², Wangweijin²

(1. School of City Engineering, Southeast University, Nanjing 210096;

2. Nanjing jiangning Water Group Company Limited, Nanjing 211100)

Abstract: Under the conditions that HRT is 4d without any measures to strengthen the system, after adding enhanced phosphorus removal materials, the system effluent TP removal efficiency increased by an average of about 8.36%; the system total nitrogen concentration with the flow direction of the wetlands has shown a downward trend, the concentration of ammonia nitrogen in the system in addition to hydrolysis at the second point is the point to increase the pool of water, the rest remain the same as the concentration of TN system flow direction showing a downward trend; the concentration of organic matter in sewage along the flow direction showing a decreasing trend, the first and the second paragraph of wetlands plays a major role to removal the concentration of organic matter, in addition to amount of 72.78% removal of total organic matter concentration.

Key words: artificial wet land; polluted water processing; demonstration engineering

当前,水环境污染及水资源短缺已成为世界各国所面临的共同问题,对于中国尤其如此。人工湿地作为一种新型生态污水处理技术,不仅具有良好的有机物去除效果,而且具有较好的除磷脱氮功能,被广泛应用于生活污水、农业面源污染、富营养化水体等多种污水的处理^[1]。国家“十二”五规划中明确提出推进农业现代化,加快社会主义新农村建设,由于人工湿地污水处理技术具有以上诸多优点,在包括农村生活污水处理在内的多方面得到广泛应用。鉴于此,受国家自然科学基金及南京市科技计划项目支持,结合示范工程建设,进行了复合人工湿地处理城市污水降解过程的研究,以期为人工湿地的产业化及大规模应用提供技术指导。

1 试验装置及流程

1.1 工艺概况及流程

文中所述复合人工湿地系统,是课题组针对近年来人工湿地实际应用中的易堵塞、因溶解氧不足导致有机物去除率低、氨氮硝化率不充分和除磷率每况愈下等问题提出的一项实用新技术组合,工艺流程如图 1 所示。组合系统由高负荷

水解池、自然复氧/沉淀一体化装置及人工湿地本体 3 部分组成。人工湿地本体又包括进水分布器^[2]、强化除磷脱氮槽^[3]和出水收集器^[4]等部分。人工湿地本体段长 30 m,宽 10 m,总高 0.9 m,底坡为 1%。在湿地的 15 m 和 25 m 处各设置宽度为 30 cm、与湿地等宽等深的强化除磷脱氮槽,湿地内填充 0.6 m 厚 2 种不等径砾石,上铺 0.2 m 厚的瓜子片,其上栽种植物。综合考虑净化功能及美观效果,湿地植物主选适合南京生长的西伯利亚鸢尾、美人蕉、香蒲和细叶麦冬。

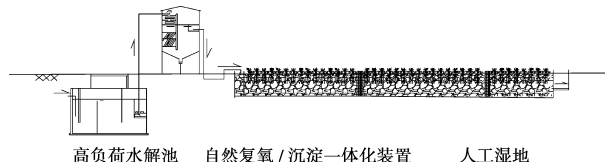


图 1 复合人工湿地系统工艺流程

1.2 原水水质

以在南京江宁水务集团有限公司科学园污水处理厂的厂进厂污水(典型的城市污水)为试验用水,具体水质条件见表 1。

表 1 原水水质

项目/ (mg·L ⁻¹)	COD _{Cr}	TP	TN	NH ₄ ⁺ -N	SS
范围	121~237	1.07~11.7	7.34~49.7	12.0~38.2	70~280
平均值	160.4	3.09	36.53	28.69	157.4

1.3 水样采集及指标测定

为全面探讨污染物的降解过程,沿程共设置 8 个取样点,如图 2 所示。分别位于水解池前与后、一体化装置后、2 个强化除磷脱氮槽的前与后及湿地出水端。

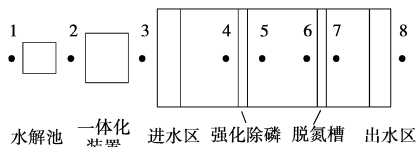


图 2 湿地系统采样点设置示意图

测定项目包括 DO、pH、COD_{Cr}、TP、TN、NH₄⁺ - N 及 SS 等,分析方法见表 2^[5] :

表 2 主要水质参数和测定方法

项目	方法
COD _{Cr}	重铬酸钾法
TP	分光光度法
TN/ NH ₄ ⁺ - N	分光光度法
SS	重量法
DO	仪器法
pH	仪器法

2 结果与分析

2.1 水力停留时间的选择

水力停留时间(HRT)是人工湿地污水处理系统的重要运行参数之一。研究表明,停留时间过短,生化反应不充分,停留时间过长,易引起污水滞留和厌氧区扩大,影响处理效果^[6]。因此,水力停留时间的选择对最终污水处理效果至关重要。

图 3 为试验测得的 COD_{Cr}、TN、NH₄⁺ - N、TP、SS 在不同 HRT 下的平均去除效果。可见,随着 HRT 的延长,各自均呈现出先上升再下降的趋势,各自去除率最高时相应的 HRT 分别为 4、3、4、3 d。以氮、磷为控制因子,湿地系统的

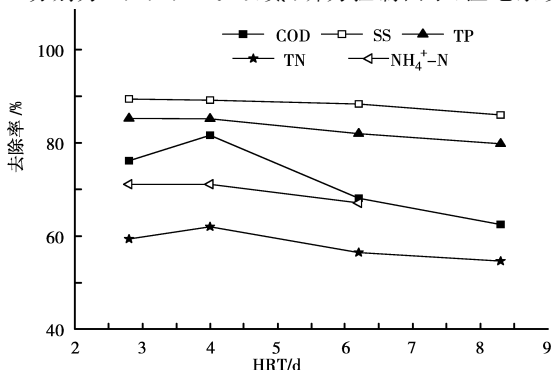


图 3 HRT 对人工湿地系统去除效果的影响

最佳水力停留时间选择 4 d 较为理想。因此,试验将系统进水量控制在 30 L/min(43.2 t/d),对应 HRT 为 4 d。

2.2 污染物沿程去除效果分析

2.2.1 COD

在 HRT 为 4 d,系统连续运行,采取微曝气和添加除磷材料等强化措施时人工湿地系统中 COD_{Cr} 及累计去除率如图 4 所示。

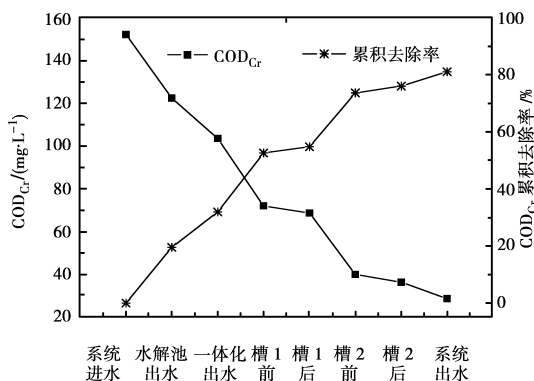


图 4 人工湿地系统 COD_{Cr} 沿程去除效果

由图 4 结果可见,总体上污水中的有机物浓度沿程呈逐渐下降的趋势,并在水解池段、人工湿地第一段(第一个强化除磷脱氮槽前)和人工湿地第 2 段(第 2 个强化除磷脱氮槽前)的 3 段内下降趋势明显快于其他各段。当污水进入水解池时,有机物浓度迅速下降,水解池对有机物的去除率约占全系统总去除率的 24%,水解改变了污水中有机物的形态,污水中的有机物通过与水解池中水解微生物的接触,部分有机性 SS 和溶解性 COD_{Cr} (SCOD_{Cr}) 得到一定的去除^[7],故此阶段对有机物的去除率占比较大;在一体化装置段,有机物的去除率占全系统总去除率的 15% 左右。一体化装置的主要功能是对污水进行自然复氧及进一步降低进入湿地的 SS 浓度,故对污水中溶解性有机物的去除率较低;污水进入人工湿地中第 1 段及第 2 段后,有机物浓度下降趋势明显加快,对应的有机物去除率分别占全系统总去除率的 25% 和 23% 左右。

2.2.2 TP

在 HRT 为 4 d,系统连续运行,强化除磷脱氮槽内实施微曝气(气水比为 5 左右),在添加除磷材料和未添加除磷材料时人工湿地对污水中 TP 的去除效果如图 5 所示。

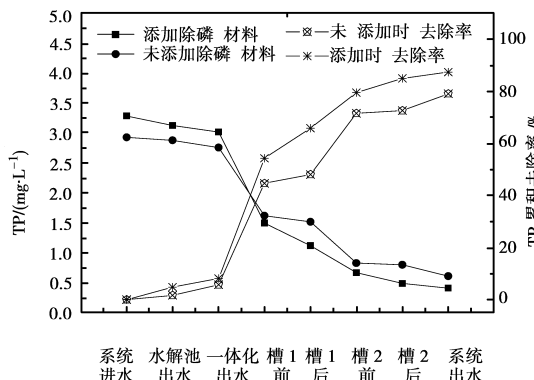


图 5 人工湿地系统 TP 的沿程去除效果

由图 5 可见,污水中 TP 浓度沿程总体上呈下降趋势,在水解池和一体化装置段去除率均较低,去除效果主要在人工湿地本体段。在强化除磷脱氮槽内添加和未添加除磷材料 2 种工况下,污水在进入湿地本体到达强化槽 1 前,TP 浓度均有较大幅度的下降,分别占总去除量的 53% 和 49%,主要是通过基质的物理化学吸附、植物吸收和微生物的同化作用^[8];污水通过强化除磷脱氮槽 1 和强化除磷脱氮槽 2 时,在未添加除磷材料时,TP 浓度变化不大,而在添加除磷材料后,TP 浓度均呈较大幅度的下降,相对于未添加除磷材料时,强化槽 1 和 2 的去除率分别提高了 9% 和 5% 左右;在添加除磷材料时,系统 TP 的总去除率为 87.54%。未添加时为 79.18%,平均提高了 8.36%,说明添加除磷材料对磷去除率提高效果明显。

2.2.3 TN/NH₄⁺-N

在 HRT 为 4 d,实施强化微曝气及添加强化除磷材料情况下,系统沿程各段 TN 和 NH₄⁺-N 及累计去除率如图 6 所示。

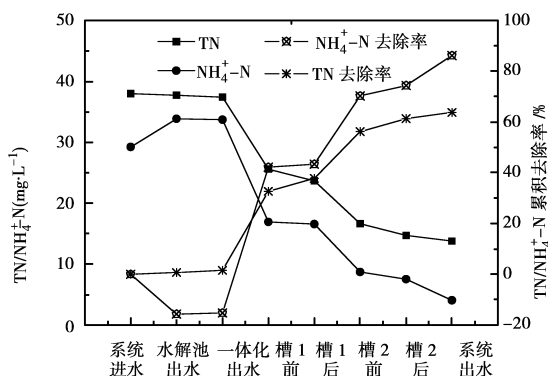


图 6 人工湿地系统 TN/ NH₄⁺-N 的沿程去除效果

由图 6 可见,TN 浓度沿系统流程呈下降趋势。污水进入人工湿地本体后,TN 浓度降低明显,其中,湿地第一段、第二段和第三段分别去除了 TN 总去除量的 49%、29% 和 4%,湿地中 3 个阶段对氮的去除所占比例逐渐下降的主要原因是由于刚开始污水进入人工湿地时,通过基质的吸附、过滤、沉淀、氨的挥发及微生物的硝化和反硝化作用,氮类物质大部分被去除^[9],经强化槽后,由于强化微曝气作用,使湿地中 DO 水平得到一定提升,从而在其后形成了好氧微环境,反硝化细菌的生长和活性均受到限制,阻碍了反硝化过程的进行,所以,到湿地第二段后去除所占比例下降,而到了湿地第三段后,除了上述原因之外,由于 C/N 比下降,有机碳源不充分成为影响系统反硝化的关键因素,因而,湿地第 3 段对氮类物质的去除率显著降低。系统中 NH₄⁺-N 的浓度除了在水解池出水那一点有升高外,其余各点均保持与 TN 浓度相同的规律。NH₄⁺-N 沿程呈下降的趋势,在水解池段,对氨氮的去除率出现负值,使 NH₄⁺-N 浓度平均升高了 18%。这是由于污水中含有大量大分子有机物及其降解产物,水中的大分子有机物被微生物分解为小分子有机物,污水中有机氮转化为小分子的离子态氮。

2.2.4 SS

在 HRT 为 4 d,强化微曝气及添加强化除磷材料条件下,全系统沿程各段 SS 浓度变化及累积去除率如图 7 所示。

由图 7 可见,污水中 SS 沿程呈下降趋势,进入水解池

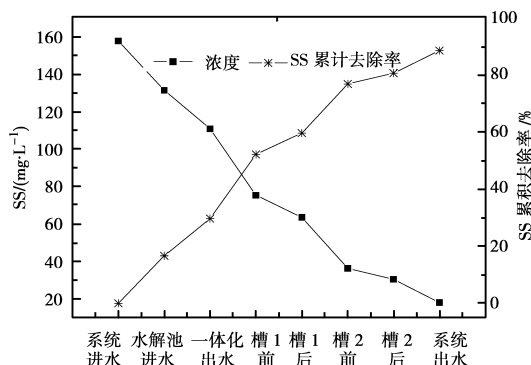


图 7 人工湿地系统 SS 的沿程去除效果

后,经过充分的水解,去除率占全系统 SS 总去除量的 19% 左右,随后,进入一体化装置,经过沉淀后,去除 SS 量占总去除量的 15% 左右,进入人工湿地后,污水中 SS 在湿地基质形成空隙内沉淀,湿地中的植物根系对污水中的 SS 也起到拦截作用,从而去除了大量的 SS^[10]。系统最后出水 SS 平均值为 17.99 mg/L,湿地去除效果稳定,出水水质良好,出水 SS 达到 GB18918-2002^[11] 一级 A 标准(SS≤20 mg/L)。

3 结论

1) 在最佳水力停留时间为 4 d 并进行微曝气和添加除磷材料的条件下,污水中 COD_{Cr} 沿程呈逐渐下降的趋势,并在水解段、人工湿地第一段和人工湿地第二段的 3 段内下降趋势明显快于其他段。

2) 在最佳水力停留时间为 4 d 并进行微曝气及添加除磷材料的条件下,TP 浓度沿程呈下降趋势,添加除磷材料后,强化槽对 TP 的去除率比未添加除磷材料时提高了约 14%,系统出水比未添加除磷时 TP 去除率平均提高了 8.36%,说明添加除磷材料作为强化手段对系统中 TP 的去除有着良好的效果。

3) 在最佳水力停留时间为 4 d 并进行微曝气及添加除磷材料的条件下,TN 浓度沿流程呈下降趋势,NH₄⁺-N 浓度除在水解池出水处升高外,其余均保持与 TN 浓度相同的沿程下降的规律。

试验和分析表明,本组合工艺系统对不同类污染物采取不同的强化措施,对各类污染物的去除均有一定的贡献。特别是对 TN、TP 的强化处理,可确保出水中各类污染物全面达到国家《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918-2002) 一级 A 标准。对我国正在实施的污染物减排、生态修复及提标改造具有重要意义。

参考文献:

- [1] JI G D, SUN T H. Surface flow constructed wetland for heavy oil-produced water treatment [J]. Bioresource Technology, 2007, 98(2): 436-441.
- [2] 王世和. 防堵塞人工湿地进水分布器 [P]. 中国专利. ZL2007100222702. 2009-04-29.
- [3] 王世和. 可更换填料人工湿地强化除磷脱氮槽 [P]. 中国专利. ZL200610096747. 7. 2008-06-24.

(下转第 76 页)