

# 人工湿地强化运行措施研究

鄢璐,王世和,钟秋爽,黄娟

(东南大学市政工程系,南京 210096)

[摘要] 人工湿地是一项水质净化效果好,建造、运行费用低的生态污水处理技术。目前缺少对湿地强化条件下净化特性和氧状态的研究,制约了湿地净化效率的提高。研究了串联型人工湿地、美人蕉湿地曝气、湿地多点进水和湿地出水回流对人工湿地氧环境的改善及净化效果;结果表明湿地出水回流净化效果最明显。

[关键词] 人工湿地;串联;曝气;多点进水;回流

[中图分类号] X52 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2007)10-0088-03

Kickuth 等对人工湿地中氧的分布规律与传递机理的研究表明<sup>[1~3]</sup>,人工湿地系统中的氧被消耗于有机物和氮等营养物质的降解过程,对湿地的净化作用有着非常重要的影响。但由于湿地自身构造的限制,湿地内溶解氧(DO)浓度较低,抑制了微生物活性和各种生化反应的进行,使人工湿地的除污效果尤其是对氮类物质的脱除受到了制约,因此,改善湿地中的氧环境将有助于提高湿地的净化效率,目前对湿地强化措施的研究较少,国内尚无此方面试验的报道。笔者研究了多种氧环境改善措施下湿地的运行特性和氧分布状况,为湿地的强化设计提供了理论基础和参考。

## 1 试验装置

试验在南京锁金村污水处理厂进行,试验湿地的进水来自该厂初沉池。湿地模型为 3 m × 1.0 m × 1.0 m,底面坡度为 1%,处理区填料由四层组成,分别为粗糙砾石、中等砾石、细小砾石,表层覆土约 20 cm。在湿地床的上层、中层和底层沿程设置共 15 处取样点。湿地中分别栽种有芦苇(*phragmites communis trin*)、富贵竹(*dracaena sandariana*)和美人蕉(*canna generalis*)等植物。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 串联型人工湿地氧环境及净化特性

试验采用芦苇床+芦苇床串联和芦苇床+富贵竹床的不同植物串联形式,单元湿地间采用塑料管连接,由一级湿地出水经管道进入二级湿地布水区。

2.1.1 串联湿地氧分布规律 在稳态下平均温度 25℃左右,进水 DO 平均浓度约 0.84 mg/L,取样时间为上午 9 时至 10 时,研究芦苇—芦苇、芦苇—富贵竹潜流式水平流串联湿地的氧分布规律。结果表明,由芦苇湿地进入第二级湿地后,湿地上层 DO 浓度继续下降,后部下降趋势变缓;湿地中层和下层的 DO 浓度下降不明显。分析认为,湿地内 DO 浓度低于一定值后,已经不能满足耗氧反应所需的氧环境,使反应迟缓,DO 消耗量减少,故 DO 浓度下降在上层后部变缓,中层和下层不再下降,当湿地内 DO 浓度低于 0.2 mg/L 时,耗氧反应不能进行。由于芦苇的产氧能力优于富贵竹,故在二级湿地中,芦苇湿地的上层氧浓度高于富贵竹湿地。

2.1.2 串联湿地净化效率 串联型人工湿地净化效率的沿程变化试验结果表明,污水经一级湿地后进入二级湿地,有机物被大量去除,进入二级湿地的少量有机物,虽然进一步被降解,但去除率提高不明显;两种植物湿地的去除率相差很小;人工湿地对磷类物质的去除主要依靠基质的物化作用,湿地串联

[收稿日期] 2006-04-13;修回日期 2007-01-17

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(50278016)

[作者简介] 鄢璐(1982-),女,安徽芜湖市人,东南大学博士研究生,主要研究方向为水污染控制技术,Email:wrongsky1982@163.com

后,二级出水的总磷(TP)去除率比一级出水显著提高;串联后湿地对 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率有所增加,是因为污水进入二级湿地后有机物浓度不高,硝化菌得以大量生长繁殖,硝化反应顺利进行,氨氮去除率上升,同时硝化反应消耗了DO,湿地氧环境没有得到明显改善,故湿地氨氮去除率提高幅度比较缓慢;串联湿地对总氮(TN)的去除率提高不及 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ,是因为可截留吸附的氮类物质在前部已经被基本去除,后部湿地主要依靠微生物的生化反应降解,不足的有机物浓度抑制了反硝化反应的进行,使TN去除率不能随 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的大量去除而有明显提高。

## 2.2 曝气条件下人工湿地的氧环境和净化特性

和串联湿地相比,充氧曝气是较为直接的补氧措施。试验采用美人蕉湿地,以空压机进行曝气,曝气位置为湿地中层中部,控制水力负荷为 $35 \text{ cm}^3/\text{d}$ ,停留时间为 $2 \sim 5 \text{ d}$ ,湿地保持高水位运行。平均温度为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右,进水DO平均浓度约 $0.84 \text{ mg/L}$ ,取样时间为上午9时至10时。

### 2.2.1 最佳气水比的确定

研究了 $0.5 \sim 6.0$ 之间13个不同气水比下美人蕉湿地出水DO浓度和净化效率的变化,结果显示,随着气水比的增加,出水DO浓度呈显著上升趋势,说明充氧曝气措施对湿地内氧环境改善明显。当气水比 $< 1$ 时,DO浓度没有明显提高, $1 < \text{气水比} < 5$ 时,出水DO浓度直线上升,当气水比 $> 5$ 后,上升趋势趋于平缓。相关分析发现,气水比和出水DO浓度两者呈显著线性相关,相关系数为 $0.97$ 。

研究了不同气水比湿地对各类污染物的去除效果。结果为:曝气后湿地对有机物的去除率有所提高,气水比为4时达到最高去除效果。当气水比 $> 4$ 后,DO虽有所增大,但气体对湿地中基质产生了冲刷作用,影响了基质对于有机物的吸附,降低了微生物对营养物质的利用,从而导致有机物的去除率降低;磷的去除率没有明显提高,而且当气水比加大后,由于水流湍动剧烈,影响了污水和基质的接触,使磷类物质的吸附截留作用受到影响,去除率降低;气水比 $> 3$ 后, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 去除率提高了 $10\%$ ,TN的去除率增加了 $7\% \sim 8\%$ ,但曝气量过大,湿地内DO浓度普遍较高时,会影响反硝化作用的进行,导致TN的去除受到限制。综合考虑不同气水比对湿地DO浓度提高效果和各类污染物的去除率的影响,最佳气水比宜为 $4 \sim 5$ 之间,试验中采用了 $4.5$ 为最佳值对湿地进行曝气试验。

### 2.2.2 曝气湿地氧分布及净化特性研究

在美人蕉湿地中层中部进行充氧曝气后,湿地内DO浓度有明显上升,曝气前床层内DO浓度普遍低于 $0.6 \text{ mg/L}$ ,曝气后上升至 $1 \text{ mg/L}$ 以上,出现好氧环境。试验中发现,原湿地由于主要依靠植物光合作用向根部供氧和大气复氧作用,故床层内上中下DO浓度差异明显,下层很低,处于完全厌氧状态,曝气后垂直方向上DO浓度均显著提高,下层也能达到 $1 \text{ mg/L}$ 。

比较了曝气湿地和无曝气湿地净化效率的沿程变化,结果表明,曝气后湿地中DO浓度增加,微生物活性增强,好氧反应速率增大,湿地对有机物的去除率增加,尤其在湿地中部有机物去除率提高了 $10\%$ ;磷类污染物在两类湿地中无明显差别; $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和TN去除率在沿程方向上均有明显提高,可达 $60\%$ 左右。

## 2.3 多点进水人工湿地氧环境和净化特性

对芦苇湿地进行多点进水分布,进水点为湿地前端、 $1/3$ 处和 $2/3$ 处,平均温度为 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 左右,进水DO平均浓度在 $0.84 \text{ mg/L}$ 左右,取样时间为上午9时至10时的芦苇潜流式水平流人工湿地。

### 2.3.1 最佳流量分配比的确定

试验分别以 $1:1:1$ , $2:1:1$ , $1:2:1$ , $1:1:2$ 的分配比进水,试验结果表明,有机物的去除效果差异不大,以 $2:1:1$ 的分配比下人工湿地的去除率略高;磷的去除随分配比加大而下降。在 $1:2:1$ 流量分配比下脱氮效果最好,比其他3种湿地的去除率高 $5\% \sim 10\%$ 。

综合不同进水分配比对各种污染物去除效率的影响,同时考虑强化脱氮是人工湿地氧环境改善措施研究的主要目的,后期试验以 $1:2:1$ 为最佳流量分配比。

### 2.3.2 多点进水人工湿地的氧分布及净化效果

试验结果为:多点进水湿地的DO浓度普遍高于前端进水湿地;在湿地前段,DO浓度下降较平缓; $1/3$ 处进水DO浓度显著高于原湿地;湿地中后部DO浓度与前端进水湿地相差不大。

表1为多点进水与前端进水人工湿地的净化效果比较,可以看出,两者有机物的去除率相差不大,在正常波动范围内;TP的去除率变化较为明显,多点进水湿地的磷去除率比前端进水湿地低 $15.8\%$ ;对氮的去除率有较明显的提高,氨氮和总氮的去除率均增加了 $5\%$ 左右。

## 2.4 回流人工湿地氧环境和净化特性

回流对湿地DO影响显著。回流湿地出水DO浓度均高于未回流湿地;回流比越大,出水DO浓度越高。但在回流比大于2以后,DO氧浓度增加不明显。

表1 多点进水与前端进水人工湿地净化效果比较

**Table 1 Comparison of purifying efficiency in multi-inflow wetlands and former inflow wetlands %**

	CO D <sub>Cr</sub>	TP	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - N	TN
	去除率	去除率	去除率	去除率
前端进水	81	64	52.1	53.9
多点进水	80.2	48.2	56.8	58.9
增幅 Δ	-0.8	-15.8	4.7	5.0

有机物去除率表明,回流后 COD 的去除率从 61 % 提高到 81.2 %;回流显著提高了 TN 和 NH<sub>3</sub> - N 的去除率,分别提高了 16.4 %、17.5 %;回流对 TP 去除率影响不大,仅提高了 4.2 %。

### 3 结论

通过对氧环境改善措施的试验研究,得到以下结论:

1) 串联型人工湿地对湿地内氧环境的改善没有明显作用,有机物去除效果变化不大,磷类物质的去除率随湿地长度增加而增加, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - N 的去除率有所上升, TN 去除率的提高幅度不大。

2) 对美人蕉湿地进行曝气试验结果表明,湿地曝气的最佳气水比为 4 ~ 5 时,湿地内 DO 浓度明显增加,氧环境的改善使湿地对于有机物和氮类污染

物的去除率有显著提高,对磷的脱除影响不大。

3) 不同流量分配比的多点进水试验结果表明,以强化脱氮为主要目标的前提下,1:2:1 为最佳分配比例。多点进水人工湿地能够有效改善湿地的氧环境,提高脱氮效果,对有机物的去除影响不大,对磷的去除率有所降低。

4) 湿地出水回流对湿地净化效果改善明显。在回流比为 1 时,各种污染物的去除率提高最大。回流比不同,出水 DO 浓度也不同,回流比越大,出水 DO 浓度越高。

### 参考文献

- [1] Kickuth R. Degradation and incorporation of nutrients from rural wastewater by plant rhizosphere under limnic conditions [A]. Utilization of Manure by Land Spreading [C]. EUR 5672e, London, UK, 1997. 335 ~ 343
- [2] Comin F A. Nitrogen removal and cycling in restored wetlands used as filters of nutrients for agricultural runoff [J]. Wat Sci Tech, 1997, 35(5): 255 ~ 261
- [3] 宋志文,王仁卿,席俊秀,等. 人工湿地对氮、磷的去除效率与动态特征[J]. 生态学杂志, 2005, 24(6): 648 ~ 651

## Study on Intensifying Measures of Constructed Wetlands

Yan Lu, Wang Shihe, Zhong Qiushuang, Huang Juan

(Department of Municipal Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

[Abstract] The constructed wetland is an ecological sewage treatment with good purification effects and low construction and operation costs. However, the oxygen condition in constructed wetlands is of particularity and affects purification efficiency of wetlands. For the lack of systematical study on oxygen condition of wetlands, the further development of wetlands is restricted to some extent. In this paper, the intensifying measures of oxygen condition in horizontal flow wetlands were studied, the optimal operation condition of them were determined. Operation in series, aerifying and multi-inflow and circumfluence were studied by experiments. The results show that operation in series improved oxygen condition unobviously. Oxygen concentration in aeration wetlands and multi-inflow wetlands were improved. The optimal gas-flow ratio was 4 ~ 5. And the assigned ratio of inflow was 1:2:1. The results of research demonstrate that circumfluence makes purifying effect of constructed wetlands improved obviously. Removal efficiency of various pollutants increases quickly.

[Keywords] constructed wetlands; in series; aerify; multi-inflow; circumfluence