

# 水力负荷及季节变化对人工湿地处理效率的影响

聂志丹<sup>1</sup> 年跃刚<sup>1</sup> 李林锋<sup>2</sup> 谢爱军<sup>3</sup> 周 炜<sup>3</sup>

(1 中国环境科学研究院湖泊生态环境创新基地,北京 100012; 2 湛江海洋大学农学院,湛江 524088;  
3 华东师范大学环境科学系,上海 200062)

**摘要** 研究了水力负荷及季节变化对人工湿地强化净化五里湖湖水处理效率的影响因素,试验时间从2004年8月3日~2006年1月15日。研究表明,随水力负荷的增加,垂直流、潜流和自由表面流人工湿地的处理效率均呈下降趋势,尤以自由表面流人工湿地变化最为明显。对于五里湖水体,适宜的进水负荷为 $0.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 左右,此时垂直流、潜流人工湿地的TN和TP的去除效率均在50%以上。各人工湿地随季节的变化去除效率排序为夏季>秋季>春季>冬季。TP的去除率随季节变化相对比较平稳,TN次之, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 变化较大,冬季去除率下降尤为明显。

**关键词** 人工湿地 垂直流 潜流 自由表面流 富营养化水体 水力负荷 季节变化

## Effect of hydraulic loading and seasonal fluctuation on pollution removal of constructed wetlands

Nie Zhi-dan<sup>1</sup>, Nian Yue-gang<sup>1</sup>, Li Lin-feng<sup>2</sup>, Xie Ai-jun<sup>3</sup>, Zhou Wei<sup>3</sup>

(1. State Environmental Protection key Laboratory of Lake Pollution Control, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China;

2. College of Agriculture, Zhanjiang Ocean University, Zhanjiang 524088, China;

3. East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** This article discussed the effects of hydraulic loading rate (HLR) and seasonal fluctuation on pollution removal capacity of constructed wetlands treating the Wulihu Lake water. The experimental research was conducted from August 3, 2004 to January 15, 2006. The research results indicated that the removal efficiencies of the vertical flow wetland (VFW) or subsurface flow wetland (SFW) and free surface wetland (FSW) decreased along with the increase of the HLR, especially for the FSW, which is very obvious. The removal efficiencies of TN and TP of the constructed wetlands were above 50% for both VFW and SFW with HLR at  $0.8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ , which is the best option. The removal efficiencies of the constructed wetlands decreased in sequences of summer > autumn > spring > winter. The FSW decreased mostly, next was SFW, VFW decreased slightly. The TP removal rate along with seasonal variation was relatively steady, TN was next,  $\text{NH}_3 - \text{N}$  and  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  changed mostly. All of the removal rates were lowest in winter.

**Key words:** Wetlands; VFW; SFW; FSW; Eutrophicated water; HLR; Seasonal variation

研究表明人工湿地技术在处理富营养化河、湖等微污染水体方面有较好的应用前景<sup>[1-5]</sup>。为获得

国家高技术研究发展计划(863)项目(2002AA601013)。

人工湿地在五里湖及太湖流域的技术应用参数,本文探索人工湿地在微污染条件下的运行规律和特征,开展了垂直流、潜流、自由表面流人工湿地强化净化五里湖湖水的研究。且着重讨论水力负荷及季

节变化对人工湿地处理效率的影响。

## 1 试验装置与方法

### 1.1 试验装置

试验装置位于无锡市东五里湖大桥东侧湖岸边,垂直流和潜流单元规模均为  $20\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 0.8\text{ m}$ ,分3层依次填充基质(垂直流上层填充砾石,潜流上层填充沸石,其余各层均相同)。自由表面流单元规模为  $20\text{ m} \times 1.5\text{ m} \times 0.4\text{ m}$ ,基质为本地土壤,所有单元都铺防水布防止渗漏(见图1和图2)。

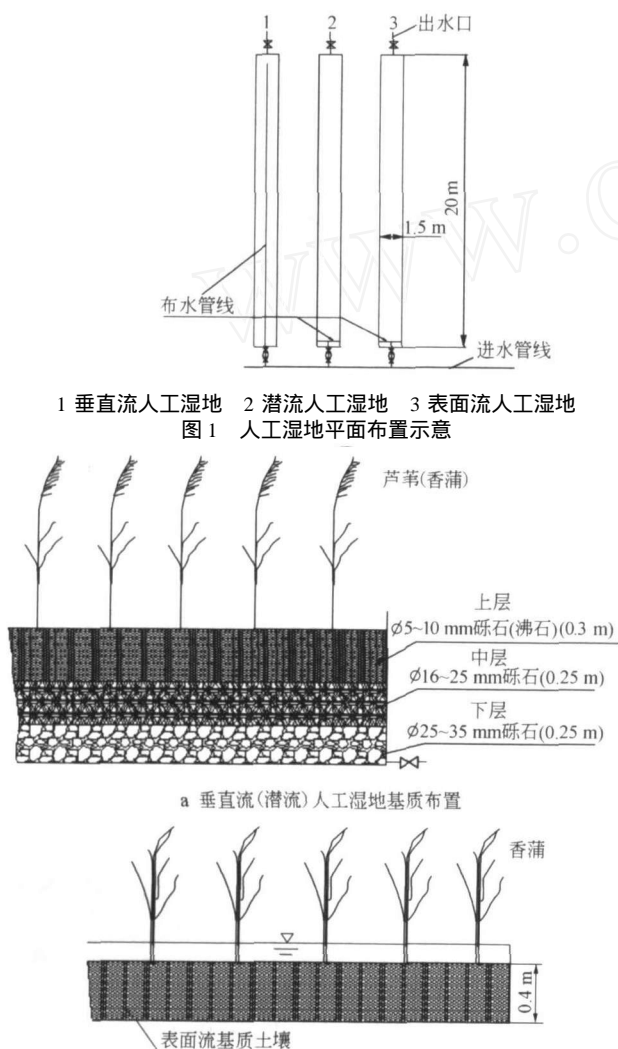


图2 基质剖面及植物布置示意

### 1.2 进水水质及分析方法

进水为五里湖湖水,试验期间进水  $\text{TN}$   $4.1 \sim 7\text{ mg/L}$ ;  $\text{NH}_3 - \text{N}$   $1.1 \sim 3.8\text{ mg/L}$ ;  $\text{COD}_{\text{Mn}}$   $5 \sim 10.3$

$\text{mg/L}$ ;  $\text{TP}$   $0.09 \sim 0.19\text{ mg/L}$ 。

定期采集各人工湿地处理单元进出水水样,采用 Skalar 连续流动分析仪(荷兰)测定  $\text{TN}$ 、 $\text{TP}$ 、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ ;按国家环境保护总局编写的《水和废水监测分析方法》测定  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 。

## 2 结果及分析

### 2.1 不同水力负荷对处理效率试验的影响

分别对潜流、垂直流、表面流人工湿地在6种不同水力负荷条件下进行对比研究试验,每种负荷条件均待系统稳定后取样分析,结果见图3。

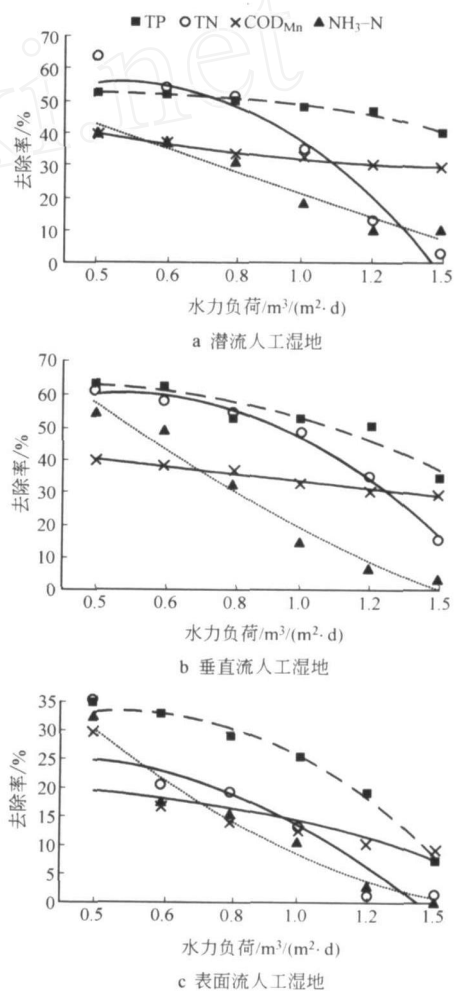


图3 水力负荷对污染物去除的影响

从图3可知,水力负荷的增加,对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的影响最小,其次是  $\text{TP}$  和  $\text{TN}$ ,对  $\text{NH}_3 - \text{N}$  的影响最大。原因可能是:五里湖湖水的  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  浓度较低且难以降解,故在其他条件不变的情况下,仅改变进水

负荷,其去除率的变化不明显。对 TP 来说,植物吸收与基质吸附起着相对更重要的作用<sup>[6,7]</sup>,而  $\text{NH}_3 - \text{N}$  和 TN 的去除受微生物的影响较大<sup>[8]</sup>。当水力负荷从  $0.5 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$  增加到  $1.5 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$  时 HRT 从 16 h 缩短至 4 h,即水力负荷越大,微生物的硝化和反硝化作用时间越短。所以水力负荷对  $\text{NH}_3 - \text{N}$  和 TN 去除率的影响大于对  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  和 TP 的影响。总体来说,当水力负荷为  $0.5 \sim 0.8 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$  时,各污染物的去除率变化趋势比较平缓,潜流和垂直流人工湿地对 TN 和 TP 的去除效果均在 50 % 以上,继续增加进水负荷去除率下降趋势很明显。

水力负荷对对潜流和垂直流人工湿地的影响相对较小,对表面流人工湿地的去除效果影响最大。考虑到湿地处理效果和运行情况,采用  $0.8 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$  左右的进水负荷比较合适。

## 2.2 季节变化对处理效率的影响

在  $0.8 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$  的进水负荷下,3 种人工湿地运行时间从 2004 年 8 月 ~ 2006 年 1 月,历经春夏秋冬 4 个季节,每月进水平均温度见图 4。3 种人工湿地对 TN、TP、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$  去除率的季节变化趋势见图 5,图中数据为月平均值。

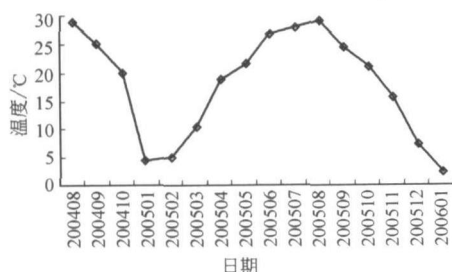
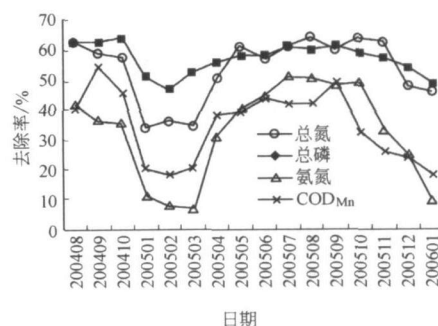


图 4 进水温度变化趋势

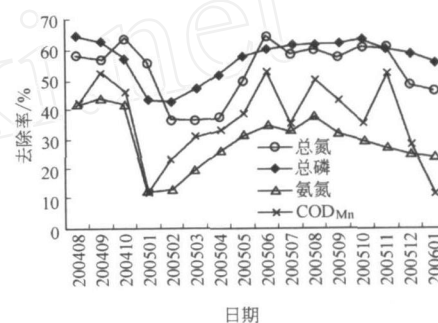
结合图 4 和图 5 可以看出:进水温度的变化(气温随季节的变化)与人工湿地去除效果的变化趋势较为一致。其中随季节变化最大的是表面流人工湿地,其次是垂直流人工湿地,变化最小的是潜流人工湿地。

从总体趋势来看,各指标的去除效果均为夏季 > 秋季 > 春季 > 冬季。这是因为冬季温度很低,影响了湿地微生物的活性,加之植物此时由于枯萎而被收割等原因造成处理效果下降,而夏秋季时气温高,微生物活性高,生物量大且生长旺盛,所以夏秋季明显好于春冬季节。在出水水质指标中, $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的去除率随季节变化波动最大,在冬季下降

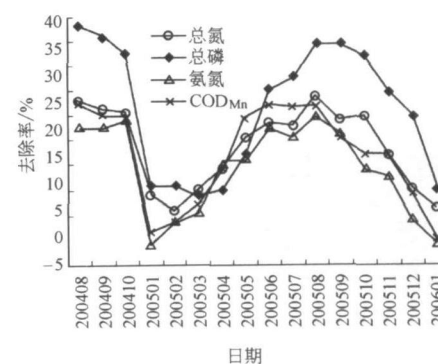
较为明显,TN 的去除率随季节变化次之,TP 的去除率随季节变化的波动最小。



a 潜流人工湿地



b 垂直流人工湿地



c 表面流人工湿地

图 5 季节变化对污染物去除的影响

## 3 结论

(1) 五里湖进水负荷为  $0.8 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$  时,潜流、垂直流人工湿地对 TN 和 TP 的去除率均在 50 % 以上;进水负荷大于  $0.8 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$  后去除效果明显下降。考虑到湿地处理效果和运行情况,采用  $0.8 \text{ m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$  左右的进水负荷比较合适。

(2) 随着水力负荷的增加,人工湿地对污染物的去除效果呈下降趋势。其中水力负荷对潜流和垂直流人工湿地的影响相对较小,且变化趋势较一致,

# 浙江省城乡一体化供水体系规划研究

周 鑫 根

(浙江省城乡规划设计研究院,杭州 310007)

**摘要** 通过对浙江省城乡水资源和供水现状的调查与分析,提出了浙江省城乡一体化供水体系规划的思路、原则与目标,构建了浙江省城乡一体化供水空间区划与指标体系,并对推进浙江省城乡一体化供水体系规划提出了建议。

**关键词** 城乡一体化 供水体系 供水规划 浙江

## 0 前言

据预测,到2020年浙江省人均水资源占有量将接近甚至跌破国际公认的用水警戒线。这一预测清楚地告诫我们:如果不尽早采取正确有效的城乡用水对策,构建合理的城乡一体化供水体系,浙江省将面临用水紧张的困扰,不少地区甚至会陷入严重缺水的困境。

## 1 浙江省城乡供水基本情况

浙江省江河年径流量为944亿 $\text{m}^3$ ,地下水量为221亿 $\text{m}^3$ ,扣除地表水和地下水相互转化的重复

量,全省水资源总量为955亿 $\text{m}^3$ 。2003年对全省170个地表水省控断面水质监测结果进行统计,有66.4%的断面水质达到或优于地表水环境质量Ⅲ类标准,10.6%的断面水质为Ⅳ类,23%的断面水质为Ⅴ类或劣Ⅴ类。水体的污染特征为有机污染型,主要污染物为 $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 、 $\text{BOD}_5$ 、氨氮、挥发酚、石油类和总磷等。

据统计,2003年全省城乡供水综合生产能力为1777万 $\text{m}^3/\text{d}$ ,城镇用水普及率为95.97%,农村用水普及率为65%;城镇饮用水合格率为98%,农村饮用水合格率仅为48.3%。

对表面流人工湿地的去除效果影响最大。就水质指标而言对 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 的影响最小,对 $\text{NH}_3\text{-N}$ 的影响最大;对TP的影响小于对TN的影响。

(3)从总体趋势来看,随气温的升高和降低,人工湿地的去除效果也随之升高和降低。去除率排序为夏季>秋季>春季>冬季。其中随季节变化最大的是表面流人工湿地,其次是垂直流人工湿地,变化最小的是潜流人工湿地。

(4)出水各项指标当中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 的去除率随季节变化波动最大,尤其在冬季下降较明显;TN的去除率随季节变化次之;TP的去除率随季节变化的波动最小。

## 参考文献

- 1 Jing S R, Lin Y F, Lee D Y, et al. Nutrient removal from polluted river water by using constructed wetlands. *Bioresour Technol*, 2001, 76:131~135
- 2 Jing S R, Lin Y F. Seasonal effect on ammonia nitrogen removal

by constructed wetlands treating polluted river water in southern Taiwan. *Environmental Pollution*, 2004, 127:291~301

- 3 刘红,代明利,欧阳威,等.潜流人工湿地改善官厅水库水质试验研究. *中国环境科学*, 2003, 23(5):462~466
- 4 刘学燕,代明利,刘培斌.人工湿地在我国北方地区冬季应用的研究. *农业环境科学学报*, 2004, 23(6):1077~1081
- 5 汪俊三,覃环.高水力负荷人工湿地处理富营养化湖水. *中国给水排水*, 2005, 21(1):1~4
- 6 Reddy K R. Fate of nitrogen and phosphorus in waste water retention reservoir containing aquatic macrophytes. *Environ Qual*, 1983, 12(1):137~141
- 7 Lantze I R, Heritage A D, Pistillo G, et al. Phosphorus removal rates in bucket size planted wetlands with a vertical hydraulic flow. *Water Res*, 1998, 32:1280~1286
- 8 张虎成,俞穆清,田卫,等.人工湿地生态系统中氮的净化机理及其影响因素研究进展. *干旱地区资源与环境*, 2004, 18(4):163~168

&E-mail:nianyg@sohu.com

收稿日期:2006-06-15

修回日期:2006-08-23