堵塞对湿地内水流流态及污水处理效果的影响

张雨葵,曹明弟,杨 扬

(环境保护部华南环境科学研究所,广东 广州 510655)

摘要:通过在污水中加入氯化钠示踪剂,研究人工湿地及其对照系统内水力停留时间的分布(HRTD),探讨潜流人工湿地和垂直流人工湿地中植物在堵塞前后对水流流态的影响,探讨堵塞对上述两种人工湿地水流流态的影响。结果表明:对于潜流人工湿地(SFCW),堵塞前湿地植物缩短了水力停留时间(HRT),堵塞后延长了 HRT;对于垂直流人工湿地(VFCW),堵塞前湿地植物对水流流态无明显影响,堵塞后延长了湿地内的 HRT。堵塞对湿地内水流流态影响明显,潜流和垂直流湿地由于堵塞其 HRT 分别延长了 12.3%,22.6%。堵塞后湿地对污水的净化能力都要强于堵塞前,但是湿地的污水处理量减小,堵塞严重时湿地丧失其污水净化功能。

关键词:湿地植物;堵塞;人工湿地;水流流态;水力停留时间

中图分类号:X171.4 **文献标识码**:A **文章编号**:1004-6933(2008)06-0057-04

Influence of clogging on flow pattern and wastewater treatment efficiency of constructed wetland

ZHANG Yu-kui, CAO Ming-di, YANG Yang

(*South China Institute of Environmental Sciences, MEP, Guangzhou* 510655, *China*)

Abstract: The hydraulic retention time (HRT) distribution of a constructed wetland and a control system without plants was studied using a NaCl tracer. The influence of the wetland plants on the flow pattern in subsurface flow constructed wetlands (SFCW) and vertical flow constructed wetlands (VFCW) before and after clogging are discussed. The results show that the HRT is shortened by wetland plants before clogging, and after clogging the result is the contrary in SFCW. In VFCW, the influence of wetland plants on the flow pattern is not observed before clogging, while after clogging HRT increases due to wetland plants. The influence of clogging on the flow pattern in constructed wetlands is obvious. Because of clogging, the HRT increases 12.3% in SFCW and 22.6% in VFCW. The constructed wetland after clogging has higher purification efficiency than the constructed wetland before clogging, but the wastewater treatment capacity of the constructed wetland will decrease and even reach zero if clogging is serious.

Key words: wetland plants; clogging; flow pattern; hydraulic retention time

运用人工湿地处理污水具有对污染物的处理效果好、投资少、能耗低和维护管理方便等特点,是一项适合我国国情的污水资源化技术。人工湿地按水流的流动方式可以分为 3 种:表面流人工湿地、潜流人工湿地(SFCW)[1]和垂直流人工湿地(VFCW)[2]。其他设计类型大多是以此为基础,进行必要的改进或复合而产生的。

人工湿地主要是通过生化作用对污染物质进行去除,而生物处理的效率依赖于污染物质和植物根系及微生物群的接触及持续时间,因此湿地内部的污水流动状况决定了湿地营养物质的输入输出,影响了污水的净化效果。然而,由于受湿地结构、植物根系、生物膜等多种因素的影响,湿地的水流状况十分复杂,目前这方面的研究工作较少[1,3-11],在很大

基金项目:国家高技术发展研究计划(863)项目(2003AA601100-5)

作者简介:张雨葵(1976—),男,湖北武穴人,工程师,硕士,主要从事人工湿地方面的研究。E-mail:zyk@scies.com.cn

程度上限制了人工湿地处理效率的提高,不利于该项技术的合理使用和不断发展。

堵塞是影响湿地使用寿命的最关键因素,如果设计不当或管理不善极易出现堵塞现象。对不同类型湿地的堵塞现象对水流流态影响,以及作为构成人工湿地基本要素的湿地植物对不同类型湿地内的水流流态的影响的研究却很少见到[9,11-14]。本文通过人工湿地及其对照系统内不同的水力停留时间的分布(HRTD),探讨 SFCW 和 VFCW 中植物在堵塞前后对水流流态的影响,以及堵塞对上述两种人工湿地水流流态的影响以及堵塞对污水处理效果的影响。

1 材料与方法

1.1 小试系统的构建

本工艺主要是由四套三级系统组成,一套系统为潜流人工湿地,另一套系统为其对照系统(其构建形式与潜流人工湿地相同,区别是没有种植物);一套系统为垂直流人工湿地,另一套系统为其对照系统(其构建形式与垂直流人工湿地相同,区别是没有种植物)。人工湿地及其对照系统的载体都是碎石床,碎石床的尺寸(长×宽×高)为 1.0 m×0.8 m×0.7 m,所有碎石床尺寸完全相同。每套系统分三级:一级碎石床,填料为粒径 40~50 mm 的砾石,厚度为 70 cm;二级碎石床,填料粒径为 10~20 mm 的砾石,厚度为 70 cm;三级碎石床,填料为黄沙,厚度为 70 cm。一级湿地种植植物是香根草与风车草,二级湿地种植植物是风车草与纸莎草,三级湿地种植植物是美人蕉。本小试系统于 2005 年 5 月构建。小试装置及流程见图 1。

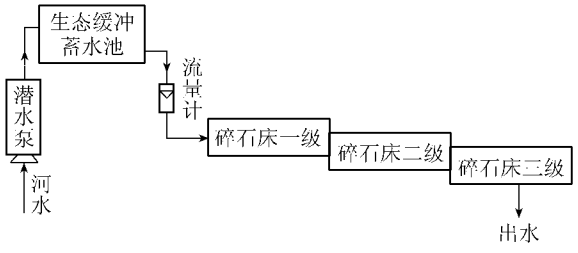

图 1 小试装置及流程

1.2 运行工况

小试系统采用连续运行,水力负荷为 0.6 $m^3/(m^2\cdot d)$。各平行单元运行条件相同。

1.3 示踪剂试验

试验采用氯化钠(NaCl)作为示踪剂,在进入生态缓冲蓄水池的河水中投加 NaCl,使其电导率上升到背景值 5 倍以上,然后使其快速进入湿地,通过监测系统出水(湿地出水口的出水)的电导率变化获取湿地的停留时间分布。试验中电导测定仪为上海康仪仪器有限公司生产的 DDP-210 型便携式电导率仪。

1.4 水力停留时间(HRT)的确定

卢学强等[15]的研究认为将出现最大峰值所需的时间作为污水在湿地中的实际 HRT,因此本文中涉及的实际 HRT 均为最大峰值所需的时间。

2 结果与讨论

2.1 湿地植物对水流流态的影响

2.1.1 堵塞前湿地植物对水流流态的影响

湿地中的植物是构建湿地有别于其他污水净化工艺的一个重要特征。本试验是在 2005 年 8 月份进行的,此时湿地植物生长茂盛,湿地植株高约 110 cm,覆盖度为 100%。在水力负荷为 0.6 $m^3/(m^2\cdot d)$时,湿地表面无壅水堵塞现象,湿地的出水顺畅。图 2 为水力负荷为 0.6 $m^3/(m^2\cdot d)$时,人工湿地及其对照系统 HRTD。由图 2 可见,对于潜流系统,有植物的人工湿地系统 HRT 比作为无植物的对照系统 HRT 较早出现峰值,这一现象与 Edward L M 等[16]的研究相吻合;而在垂直流系统中,人工湿地和无植物对照系统 HRT 几乎同时出现峰值,与付贵萍等[9]的研究结果有差异。研究发现,在潜流系统中,植物根系能增大基质的孔隙,有利于水流传输[17],使得停留时间缩短;而在垂直流系统中,湿地植物对水流流态的影响不是很明显,这可能是由于垂直流系统的布水很完善,水流能够很充分的与基质接触,因而植物对水流流态的影响相对来说比较弱。

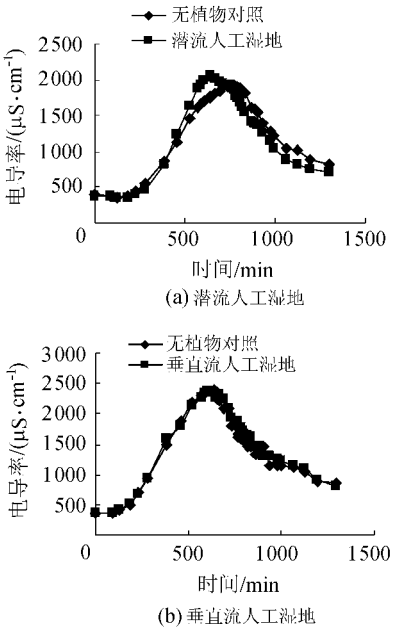

图 2 堵塞前小试系统水力停留时间分布曲线

2.1.2 堵塞后湿地植物对水流流态的影响

本试验是在 2006 年 11 月进行的,此时湿地植物已经开始枯萎,湿地植株高约 110 cm,覆盖度为 80%。在水力负荷为 0.6 $m^3/(m^2\cdot d)$时,湿地表面已

出现壅水堵塞现象，壅水高度约 2 cm。图 3 为水力负荷为 0.6 $m^3/(m^2 \cdot d)$时，堵塞后人工湿地和无植物对照系统中 HRTD 曲线。从图 3 可见，无论是潜流系统还是垂直流系统，有植物的人工湿地系统 HRT 比作为无植物的对照系统 HRT 较晚出现峰值，其 HRT 相对于其对照系统分别延长了 18.18%，15.26%。说明堵塞减少了进入湿地内的水力负荷，减少了湿地内的有效孔隙率，改变了湿地内部的水流流态，植物根系分布使基质中水流路径更加曲折，从而延长了湿地的 HRT。

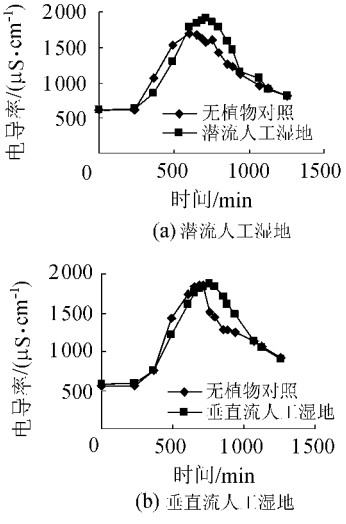

图 3　堵塞后小试系统停留时间分布曲线

2.2　堵塞对人工湿地水流流态的影响

人工湿地经过一段时间运行后，一些无机物以及难降解有机物会积累在湿地中堵塞填料间的空隙，改变系统的水流路径，增大了湿地内部水流的混合、短流以及回混，从而延长了该系统的实际 HRT。在本研究中，堵塞后湿地壅水高度约 2 cm。本试验的数据分别来自 2.1.1 堵塞前和 2.1.2 堵塞后试验同期数据。

由图 4 可见，湿地系统堵塞后 HRTD 出现的峰值比堵塞前晚，说明堵塞后系统内部水流流态发生了变化。

根据人工湿地的几何尺寸、填料的孔隙率以及进水流量计算出污水的理论 HRT[18]：

$$t_{th} = 24\frac{nV}{Q}$$

式中：t_{th}为理论 HRT，h；n 为填料孔隙率，一级为 0.43，二级为 0.40，三级为 0.31；V 为人工湿地体积，m^3；Q 为系统进水流量，m^3/d。

在水力负荷为 0.6 $m^3/(m^2 \cdot d)$时，根据上述公式计算得理论 HRT 为 10.6 h。

根据卢学强等[15]的研究结论，堵塞后，对于潜流人工湿地系统的实际 HRT 为 11.9 h，对于垂直流

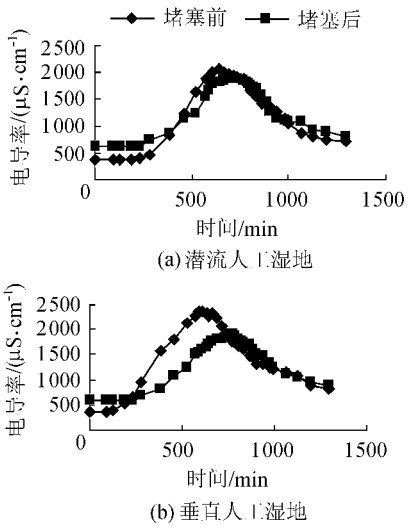

图 4　小试系统堵塞前后水力停留时间分布曲线

人工湿地系统的实际 HRT 为 13.0 h。可见堵塞后潜流人工湿地系统和垂直流人工湿地系统的 HRT 分别延长了 12.3%，22.6%，这可能是由于堵塞后湿地系统内填料渗透系数减小，水流渗透速度减缓，污水混流增强而造成的。

2.3　堵塞对污水处理效果的影响

本试验所用污水是在自来水中添加葡萄糖、碳酸氢氨和磷酸二氢钾配制而成的。本试验的数据分别来自 2.1.1 堵塞前和 2.1.2 堵塞后试验同期进行的水质分析数据。在本试验中，堵塞后湿地壅水高度约 2 cm，堵塞后的污水没有从湿地表面直接溢出，污水最终进入湿地经处理后从出水口流出。由图 5 可见，不管是潜流湿地还是垂直流湿地，堵塞后系统对 COD_{Mn}、TP、TN、NH_3-N 的处理效果都要强于堵塞前。这主要是由于湿地还没有完全堵塞，湿地内还可以进水，堵塞只是减少了单位时间进入湿地的污水量，减少了湿地内填料的孔隙率，从而延长了污水

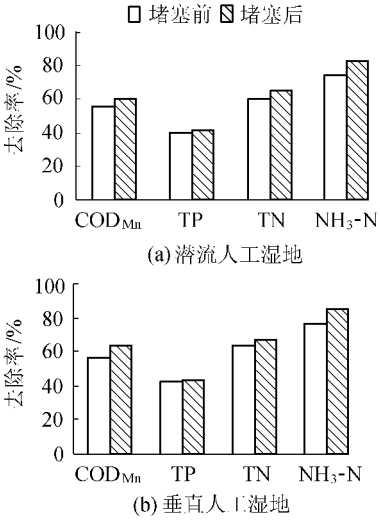

图 5　小试系统堵塞对污水处理的影响

在湿地内部的水流路径,延长了其在湿地内的 HRT,故其处理效果强于堵塞前。

人工湿地运行一定的年限后,系统堵塞是不可避免的。堵塞后,为避免壅水现象的发生(壅水现象必须避免,因为在湿地表面的壅水没有经过湿地的处理而直接流出,尽管由于进入湿地内部的污水量减少、停留时间延长而处理效果变好),只有降低人工湿地的进水负荷,这样虽然进入湿地的污水的处理效果变好,但是减少了湿地的污水处理量。堵塞严重时,湿地内无法进水,污水完全从湿地表面溢流而出,湿地的污水处理功能消失。

对于人工湿地的堵塞现象,目前还没有很好的对策使其恢复到未堵塞前的状况。欧洲通行的做法是让堵塞后的床体经过几个星期的停床休整可以部分恢复渗透性,停床期的长短取决于天气条件。因此,为了延长人工湿地的服务年限,最关键的就是延缓人工湿地的堵塞现象,因而采取加强预处理(如沉淀、一级强化)的方法减少进入湿地系统中的总悬浮物,及时收割湿地植物,清除枯枝败叶等措施是必不可少的。

3 结 论

a. 堵塞前,潜流湿地植物对水流流态影响明显,湿地植物有利于水流传输,缩短了 HRT,垂直流湿地植物对水流流态无明显影响。

b. 堵塞后,潜流和垂直流湿地植物都对水流流态有明显影响,增大了水流传输路径,延长了 HRT。

c. 堵塞对湿地内的水流流态有明显的影响,潜流和垂直流湿地由于堵塞其 HRT 分别延长了 12.3%,22.6%。

d. 堵塞虽然提高了湿地的处理效果,但是减少了湿地的污水处理量。堵塞严重时,湿地内无法进水,污水完全从湿地表面溢流而出,湿地的污水处理功能消失。

参考文献:

[1] 吴振斌,任明迅,付贵萍,等.垂直流人工湿地水力学特点对污水净化效果的影响[J].环境科学,2001,22(5):45-49.

[2] 高拯民,李宪法.城市污水土地处理利用设计手册[M].北京:中国标准出版社,1991.

[3] MACHATE T, NOLL H, BEHRENS H. Degradation of phenanthrene and hydraulic characteristics in a constructed wetland[J]. Water Research, 1997, 31(3): 554-560.

[4] TORRES J J, SOLER A, SAEZ J. Study of the internal hydrodynamics in three facultative ponds of two municipal WSPs in Spain[J]. Water Research, 1999, 33(11): 1133-1140.

[5] NAMECHE T H, VASEL J L. Hydrodynamic studies and modelization for aerated lagoon and waste stabilization ponds [J]. Water Research, 1998, 32(10): 3039-3045.

[6] 胡康萍.人工湿地设计中的水力学问题研究[J].环境科学研究,1991,4(5): 8-12.

[7] 王久贤. 白泥坑人工湿地水力学计算研究[J]. 广东水力水电,1997(6): 50-52.

[8] WILLIAM J M, KAREN M W. Water quality, fate of metals, and predictive model validation of a constructed wetlands treating acid mine drainage [J]. Water Research, 1998, 32 (6): 1888-1900.

[9] 付贵萍,吴振斌,任明迅,等.反应器理论在复合垂直流构建湿地水流流态研究中的应用[J].环境科学,2002,23(4): 76-80.

[10] 付贵萍,吴振斌,任明迅,等.复合垂直流湿地反应动力学及水流流态研究[J].中国环境科学,2001,21(6): 535-539.

[11] 詹德昊,吴振斌,张晟,等.堵塞对复合垂直流湿地水力特征的影响[J].中国给排水,2003,19(2): 1-4.

[12] 付贵萍,吴振斌,张晟,等.构建湿地堵塞问题的研究[J].环境科学,2004,25(3): 144-149.

[13] 詹德昊,吴振斌,徐光来.复合垂直流构建湿地中有机质积累与基质堵塞[J].中国环境科学,2003,23(5): 457-461.

[14] 于涛,吴振斌,徐栋,等.潜流人工湿地堵塞机制及其模型化[J].环境科学与技术,2006,29(6): 74-77.

[15] 卢学强,唐运平,李万庆,等.污水湿地处理工程水力停留时间的测定[J].干旱环境监测,1999,13(2): 74-76.

[16] EDWARD L M, ANTHONG G C. The influence of Macrophytes on subsurface flow wetland hydraulics[C]//5th international conference on wetland systems for water pollution control. Vienna: 1996, II/2-1-7.

[17] 王大力,尹澄清.植物根孔在土壤生态系统中的功能[J].生态学报,2000,20(5): 869-874.

[18] 许保玖.当代给水与废水处理原理[M].北京:高等教育出版社,1992.

(收稿日期:2007-06-13 编辑:徐娟)