

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2010.06.022

# 不同填料的人工绿地对生活污水的净化效果试验

张绮耘<sup>1</sup>, 吴景峰<sup>2</sup>, 王煊军<sup>1</sup>

(1. 第二炮兵工程学院, 陕西 西安 710025; 2. 全军工程与环境质量监督总站, 北京 100142)

**摘要** :在人工绿地模型试验中,使用页岩陶粒、石灰石、沸石为填料,对生活污水进行处理,分析了 3 种填料的物理、化学性能,研究了它们对污水处理效果的影响。结果表明:对 COD 的去除效果:页岩陶粒 > 石灰石 > 沸石;对 TP 的去除效果:沸石 > 页岩陶粒 > 石灰石;对 TN 的去除效果:沸石 > 页岩陶粒 > 石灰石;对 NH<sub>3</sub>-N 的去除效果:沸石 > 页岩陶粒 > 石灰石。

**关键词** :污水处理技术;人工绿地;页岩陶粒;石灰石;沸石

中图分类号:X703 文献标识码:B 文章编号:1004-6933(2010)05-0097-04

## Experiment on purification effect of constructed green land with different filling materials on domestic sewage

ZHANG Qi-yun<sup>1</sup>, WU Jing-feng<sup>2</sup>, WANG Xuan-Jun<sup>1</sup>

(1. Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China; 2. Project and Environmental Quality Supervision Centers of Whole Army, Beijing 100142, China)

**Abstract** :Domestic sewage was treated in the constructed green land model with different filling materials, including shale pottery grain, lime stone, and zeolite. The physical and chemical properties of those three filling materials and their effects on wastewater treatment were analyzed. The results were as follows: the rank of removal efficiency of COD of the three materials was shale pottery grain > lime stone > zeolite; the rank of removal efficiency of TP of the three materials was zeolite > shale pottery grain > lime stone; the rank of removal efficiency of TN of the three materials was zeolite > shale pottery grain > lime stone; the rank of removal efficiency of NH<sub>3</sub>-N of the three materials was zeolite > shale pottery grain > lime stone.

**Key words** :wastewater treatment technology; constructed green land; shale pottery grain; lime stone; zeolite

人工绿地系统是一种具有一定长宽比且底部具有坡度的生态模块的地处理模式的污水处理生态技术。该工艺是利用植物—土壤—微生物复合系统处理污水的技术,运用生态学原理,把传统的污水处理技术与生态绿化相结合,是一种处理效果好、日常管理简单、处理费用很低的环境友好型污水处理技术。其核心部分是由土壤、填料、滤料混合组成填料床,并在床体表面种植具有处理性能好、耐污性好、适应能力强、根系发达且美观的水生植物,或根据周围景观要求统一设计的绿草、鲜花等植物组成的生态模块<sup>[1]</sup>。污水通过植物的吸收,填料的过滤以及好氧、兼氧和厌氧微生物降解等一系列物理化学生物过程

得到高效净化。

人工绿地是一种低成本、高效益的生态式污水处理技术,近年来越来越受到人们的关注。它主要有以下特点:①基建投资少,建设成本低;②系统无动力或微动力运行,维护保养简单,系统运行稳定、可靠、抗冲击负荷能力强;③污水处理的效果好,特别是对氮和磷的处理,经过物理吸附作用、微生物化学作用以及植物吸收利用后,处理后的水质达到国家标准;④系统在地下运行,无污泥排除,无渗透,不产生二次污染;⑤实现水资源的循环使用,将中水用于绿化建设浇灌、喷泉景观、卫生冲洗等;⑥强大的生态功能,能净化空气,吸收 SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>,增加氧

作者简介:张绮耘(1985—),女,四川成都人,硕士,主要研究方向为人工生态绿地的污水处理技术。E-mail: zjqiaoyun@hotmail.com

气,消除城市热岛效应;⑦综合效益高。人工绿地作为一个生态系统,能维持生物多样性及构成景观的一部分,在去除污染物的同时,还可直接和间接提供水产、畜产、造纸原料、建材、娱乐和教育等效益,真正实现生态效益、环境效益、社会效益和经济效益的协调统一<sup>[1]</sup>。

### 1 影响人工绿地除污效果的因素

一般认为,有机污染物在人工绿地系统中的去除主要是通过3种途径:①较大的不溶性有机颗粒团经沉降过滤被填料与植物截留,并可部分被微生物降解;②污水中的可溶性有机物可被植物根系与填料表面上的生物膜吸附、吸收和代谢作用;③通过对填料的定期更换和植物收割将新的有机体从湿地中去除<sup>[2]</sup>。

人工湿地中有机污染物降解机理的影响因素众多,主要涉及生物因素(植物、微生物及酶)、化学因素(如溶解性有机质、氧化还原条件、溶解氧等)及工程因素(水流特性、填料空隙度、停留时间、水力负荷和水位等)等,这些因素之间存在复杂的耦合关系<sup>[3]</sup>。其中当地环境气候是主要影响因素,因为它可以影响其他因素,绿地植物种类、微生物活性和土壤中营养物质的生化循环都与其自身的环境气候有关。不同的植物种类和微生物类群对污水的净化效果不同,因此应选择对污水处理效果好、适应性强的品种,如芦苇便是特别有效的植物。基质的组成与水流过程及某些污染物的积累、释放密切相关,因此,选择合适的填料组成、设计合理的水流动力学特征参数可有效去除污染物质。最近还有研究表明,有机污染物的转化和营养物质循环与基质中的氧化-还原条件及可获电子受体量有很好的相关性。

#### 1.1 植物的选择

植物在人工绿地污水净化过程中的作用与其生长期密切相关,生长越旺盛,根系越发达的植株,其净化污水的能力、输氧和穿透的作用越强,因此,选择合适的植物对提高绿地的净化效率起着重要的作用。一般来说,植物的选择遵循以下几个原则:①耐污性强、处理效果好、成活率高;②根系发达、茎叶茂密、生长周期长;③抗冻、抗热、抗病虫害能力强,宜于乡土生长;④易于维护管理;⑤具有美化景观的功能<sup>[1]</sup>。

#### 1.2 填料的选择

在构建人工绿地时,选择适宜的填料是十分重要的。一般来讲,人工绿地填料的选择需要遵循以下几条原则:①填料中铁、镁、钙、铝等活性物质的含量要高;②填料表面粗糙,内部孔隙发达,比表面积大;③因地制宜,就近取材,选取来源广泛、价格低廉

的材料作基质,以降低人工湿地的成本;④坚持以废治废,合理利用资源的原则,对吸附能力强,环境危害小的工业副产物加以利用<sup>[4]</sup>。常用人工绿地填料见表1。

表1 常用人工绿地填料

填料来源		填料
天然材料	矿物和岩石	石英砂、石灰石、白云石、白云石砂、硅灰石、方解石、铝土矿、沸石、坡缕石、摇石、高岭土、蒙脱土、凹凸棒土、页岩陶粒等
	土壤类	铁矾土、泥灰土、灰土、黄褐土、下蜀黄土等
	海相沉积物	藻团粒贝壳砂(Maerl shell sand)等
工业副产物		电炉渣和高炉渣、发电厂的飞灰、燃烧过的油页岩、粉煤灰、污水处理厂剩余污泥等
人造材料		轻骨料(light weight aggregates);轻质膨胀土骨材(light expandable clay aggregates)等

### 2 实验方案

#### 2.1 填料的选择

为了考察不同品种填料对污水处理效果的影响,实验选用3种填料:页岩陶粒、石灰石、沸石。页岩陶粒不仅具有优异的性能,比表面积大,吸附悬浮能力强,密度低,孔隙率高;并且耐磨,耐冲刷,微孔多,截污能力强,化学性能稳定。石灰石主要矿物成分为方解石,表面平滑,呈小颗粒状。沸石可以借水的渗滤作用,进行阳离子的交换,其成分中的钠、钙离子可与水溶液中的锂、镁等离子交换。沸石中的水分可以跑出来,但这并不会破坏沸石内部的晶体结构。因此它可以再重新吸收水或其他液体,还可以吸附某些污染物。

#### 2.2 运行条件

取相同体积的不同种填料分别填充于实验模型中,试验模型高220mm、长300mm、宽130mm,填料高80mm、土壤高50mm、粗沙高30mm,实验模型见图1。试验水质选定为学院污水处理厂调节池中的污水,其中,经检测其COD质量浓度为115~139mg/L, TN为41~55mg/L, TP为5~9mg/L, NH<sub>3</sub>-N为29~46mg/L, pH在7.0~7.2之间。进水量为0.76m<sup>3</sup>,水力停留时间2.5d,每隔5天测定不同填料系统的进出水浓度。

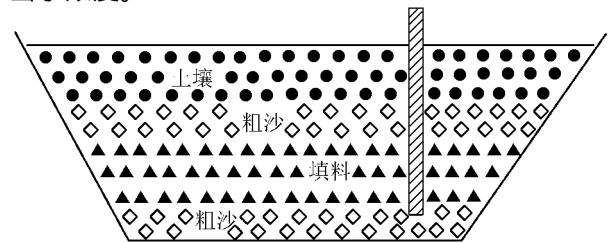


图1 试验模型

### 2.3 水质的测定方法

主要水质指标均按国家标准方法进行测定<sup>[5]</sup>, 其中 COD 重铬酸盐法, TP 钼锑铵分光光度法, TN: 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法, NH<sub>3</sub>-N: 纳氏试剂分光光度法。

## 3 实验结果和讨论

### 3.1 填料的性能分析

对填料的性能进行了测试和分析, 结果见表 2、表 3、表 4。大量的研究发现孔隙率是指单位体积填料中的空隙所占的体积比, 比表面积是指单位体积填料所具有的总表面积。

表 2 填料物理特性

填料名称	表观密度/ (kg·m <sup>-3</sup> )	连通 孔隙率/%	比表面积/ (m <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> )	外观特征
页岩陶粒	1470	6.5	4.7	不规则破碎形, 粒径 10~20mm
石灰石	2700	1.2	-	粒径一般 20~30mm
沸石	2100	>50	8.0	孔径为 0.3~1nm 的笼状孔穴和通道

表 3 填料的元素组成(以氧化物计) %

填料名称	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	烧失量	其他
页岩陶粒	63.58	2.08	2.4	7.52	17.59	3.06	0.88	0.25	2.64
石灰石	0.07	55.22	0.08	0.03	0.02	-	-	-	-
沸石	73.5	3.62	0.45	0.75	11.7	1.19	1.87	-	-

表 4 填料对 COD、TP、TN、NH<sub>3</sub>-N 的平均去除率 %

填料名称	COD	TP	TN	NH <sub>3</sub> -N
页岩陶粒	74.6	36.3	40.6	69.0
石灰石	71.3	25.3	28.4	31.1
沸石	66.1	42.7	65.4	73.4

### 3.2 不同填料对污水的净化效果

测定了不同填料对试验模型中的污水净化效果, 分别分析 COD、TP、TN、NH<sub>3</sub>-N 的去除情况, 去除率分别见图 2, 平均去除率见表 4。

由图 2 及表 4 可知, 沸石对 TP、TN、NH<sub>3</sub>-N 的去除率最高; 三种填料对 COD 的平均去除率在 71%~75% 之间, 彼此之间的区别不是很大, 页岩陶粒对 COD 的去除率最高, 沸石最低; 对 TN、TP、NH<sub>3</sub>-N 的去除, 页岩陶粒都高于石灰石, 而沸石则高于石灰石一倍多。由表 4 可知, 综合去除效果最好的是沸石。

就填料的物理性质而言, 其粒度越小, 孔隙率越高, 基质的比表面积越大, 被吸附物的扩散速率也越大, 对吸附越有利<sup>[5]</sup>。由表 2 可知沸石的比表面积最大为 8.0 m<sup>2</sup>/g, 沸石其铝硅酸盐骨架结构的孔道和空穴具有可供交换的阳离子, 应用中表现出良好的离子交换性能, 同时, 孔穴和孔道有很大的比表面积, 允许一定大小的分子自由移动, 决定了沸石对气体、液体均具有良好的吸附能力<sup>[6]</sup>。

一般情况下, 污水中磷的去除途径主要是基质的沉淀和吸附作用。基质不仅对磷具有吸附作用, 而且含钙和铁的基质可通过 Ca、Fe 反应而沉淀<sup>[5]</sup>。

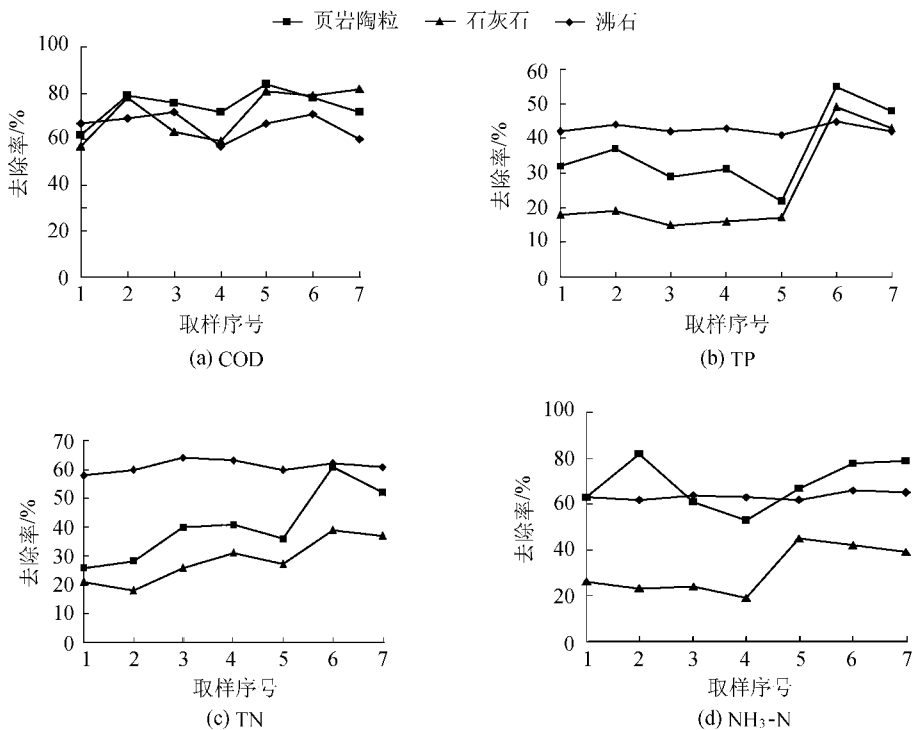


图 2 不同填料对 COD、TP、TN、NH<sub>3</sub>-N 的去除情况

本试验所选用的 3 种填料中,石灰石的钙含量最大,但总金属含量很低;页岩陶粒的钙含量不高,但是总金属含量高;沸石的钙含量比页岩陶粒高,总金属含量略低于页岩陶粒。试验结果表明沸石对 TP 的平均去除率最高。石灰石初期对磷的去除率不高,而后迅速增大,这可能与填料对磷的吸附速率有关。

人工绿地主要去氮机理是微生物的硝化与反硝化作用,由于试验填料高度不够高,厌氧环境空间相对较小,限制了反硝化作用<sup>[6]</sup>,因此填料对氮的处理效果不是很好,TN 平均去除率为 28%~66%,NH<sub>3</sub>-N 平均去除率为 31%~74%,对 NH<sub>3</sub>-N 的处理效果好于 TN。石灰石对氮的去除率最低,可能是由于填料本身的特性不利于脱氮细菌的生长,这有待于进一步的试验证实<sup>[5]</sup>。

## 4 结 语

a. 填料的比表面积、粒度分布、粒度大小和孔隙率等自身的物理性质对填料的去污能力也会有很大的影响。

b. 沸石的比表面积和连通孔隙率均大于页岩陶粒和石灰石,更适宜作为人工生态绿地的填料。

c. 由实验结果可知页岩陶粒对 COD 的去除效果最好,沸石对 TP、TN、NH<sub>3</sub>-N 的综合去除效果最好。

参考文献:

- [1] 周金娥. 人工绿地在景观水循环处理中的应用[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2005.
- [2] 曹英兰, 林建清, 陈辉. 城镇生活污水人工绿地处理技术及其应用[J]. 厦门科技, 2007(4): 12-14.
- [3] 刘强. 生态绿地污水处理系统设计探讨[J]. 科技情报开发与经济, 2004(7): 142-143.
- [4] 胡小琴. 人工绿地处理景观水系统优化试验研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.
- [5] 高磊, 丁建彤, 操家顺. 不同填料的人工湿地生物膜特性与处理效果研究[EB/OL]. [2009-06-01]. <http://www.paper.edu.cn>
- [6] 王世和. 人工湿地污水处理理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 62-67.
- [7] 徐丽花, 周琪. 不同填料人工湿地处理系统的净化能力研究[J]. 上海环境科学, 2002, 21(10): 603-605.

(收稿日期 2009-08-28 编辑 徐 娟)

(上接第 96 页)生态功能,河流治理工程独立开展环境影响评价,这是需要国内河流治理工程借鉴学习的。此外,河流生态恢复需要多学科参与和多部门配合,例如生物学、植物学、统计学、水利、园林、建筑学、环境影响评价等。综上所述,河流恢复是一个系统工程,并且是多学科共同合作的过程。这告诉我们,河流恢复中不仅要重视建设过程,更应该注重前期调查与后期的维护管理,只有这样才能达到恢复的最优化效果。

### 2.6 城市河流治理的难点问题

韩国两个河流生态恢复的案例在基本实现了恢复目标的同时,也留下了一些问题。清溪川 80% 的水均由汉江抽取而来,对河流生态与永续经营等问题考虑不足,是一条人工排水道,维护管理开支较高。而光州川存在着相同的问题,河床底部与两侧由于铺设防渗层,影响了生物的生长,河流本身的自净能力也没有得到恢复。此外,设置过多的人工设施、原本应自由渗透的岸边却以亲水为由做成了水泥地等等,这些设备造价高、且破坏了生态系统。在恢复河流自然特征的同时如何协调城市文化和满足市民的需要,这是城市河流生态恢复的难点。

## 3 结 语

城市河流的生态恢复不仅需要满足治水要求,也要符合城市的需要。把河流治理列入城市规划之中,结合公众意见,根据景观、生态、文化、历史等不

同的功能需要,对城市河流恢复进行分段设计,采取多样化的生境营建技术保持河道的自然化。在恢复工程结束后,对工程进行环境影响评价,评估其环境影响。此外,对河流的日常维护管理也是保证城市河流健康发展的必要条件。将城市河流生态恢复作为一个系统工程、进行多目标的恢复治理、最终使城市河流成为生活中的河流,或许就是城市河流生态恢复的归宿。

感谢韩国 sangmyung 大学具本学教授和延边大学朱卫红教授提供部分资料。

参考文献:

- [1] 董哲仁. 美国基西米河生态恢复工程的启示[J]. 水利水电技术, 2004, 35(9): 8-12.
- [2] 何松云, 韦亚芬, 杨海军. 城市河流生态恢复的研究现状与问题[J]. 东北水利水电, 2005, 23(12): 44-50.
- [3] 江红梅, 王正中. 城市河流综合治理与生态建设探讨[J]. 西北农林科技大学学报, 2008, 36(1): 223-227.
- [4] 李京鲜, 曾玲. 韩国首尔清溪川的恢复和保护[J]. 中国园林, 2007(7): 30-33.
- [5] <http://cheonggye.seoul.go.kr>. 清溪川恢复工程主页[EB/OL]. [2007-03-16]. <http://cheonggye.seoul.go.kr>.
- [6] <http://gjstream.gjcity.net>. 光州川自然型河流净化工程[EB/OL]. [2008-05-07]. <http://gjstream.gjcity.net>
- [7] 冷红, 袁青. 韩国首尔清溪川复兴改造[J]. 国际城市规划, 2007, 22(4): 43-47.

(收稿日期 2009-07-16 编辑 高渭文)