

海绵城市生物渗滤单元填料对城市道路径流污染物处理效果的实验研究

刘永生, 王绍征

(郑州市市政工程勘测设计研究院, 河南 郑州 450000)

摘要: 通过对海绵城市生物渗滤单元几种常见的填料及其在不同配比下对于城市道路径流中的 Zn、总 P 和石油类三种代表性污染物处理效果的实验分析,考察了不同填料对城市道路径流污染物的去除效果。结果表明,河砂的去除效果好于沸石。实验期间,河砂柱对锌的去除率均高于 95%,而沸石柱在通水的前三天内对锌的去除率高于 90%,随后逐渐降低。在河砂中适当添加少量砾石有助于在保证去除率的情况下提高其渗透速率,当河砂与砾石质量比为 2:1 时,填充柱的渗透速率达到 4 mm/min,同时其对各污染物的去除效果也很明显。

关键词: 海绵城市;生物渗滤单元;填料;城市道路;径流污染物;去除率

中图分类号: TU992.03

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2020)11-0149-04

0 引言

城市径流含有大量污染物,而其中道路径流的污染最为严重,其初期雨水污染程度可超过生活污水。城市道路海绵城市设计中常采用透水铺装、生物滞留带、生态树池、植被草沟等处理单元,通过生物渗滤单元的就地处理,以达到消减径流污染物的目的。

国家住房和城乡建设部在《海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建(试行)》(2014 年 10 月)的规划控制目标中明确要求:“各地应结合城市水环境质量要求、径流污染特征等确定径流污染综合控制指标”,考虑到径流污染物变化的随机性、复杂性,径流污染控制指标需结合径流雨水中污染物的平均浓度和低影响开发设施的污染物去除率确定。

《郑州市人民政府办公厅关于印发郑州市海绵城市规划设计导则(试行)的通知(2016 年 50 号文)》中将郑州市都市区范围内采用低影响开发的建设项目雨水径流年 SS(悬浮物)总量去除率按照 40%~60%控制。

目前城市道路的边绿化分隔带,靠近道路中心线一侧的部分人行道以及中央绿化带常被设计成下沉式,在里面填充各种填料,以达到渗滤处理污染物的目的。设计选用的主要填料有炉渣、蛭石、砂石、砾石、沸石等(下沉式道路绿化分隔带示

意见图 1)。

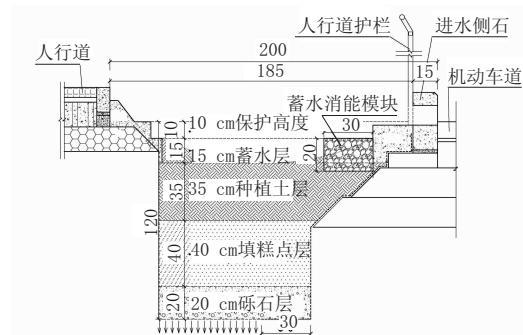


图 1 下沉式绿化分隔带示意图(单位:cm)

虽然以上填料在设计中被较多使用,然而其对污染物的去除处理能力究竟如何,对于大多数设计人员来说还比较模糊。

为此,本文以城市道路路面径流中的重要污染物锌、石油类、总磷(TP)为代表,通过对砂石、砾石、沸石等几种常见的填料对污染物去除效果的实验室研究,为城市道路海绵城市下沉式绿化分隔带的设计提供一定的借鉴。

1 材料与方法

1.1 实验装置

实验装置见图 2,采用内径 $d=5$ cm,高 $h=50$ cm 的有机玻璃柱作为填充柱,每间隔 10 cm 设有取样孔。底端附带塑料筛板,以便于通水。填装层高度为 30 cm。河砂层的顶端和底端均填装 3~5 cm 厚的碎石(粒径约 4~8 mm)层,以起到承托和布水的作用。供水设施为若干马氏瓶,马氏瓶通过玻璃连通器和软管与河砂柱连通。软管上置有控制阀,以控

收稿日期: 2020-05-21

作者简介: 刘永生(1979—),男,高级工程师,从事给排水设计工作。

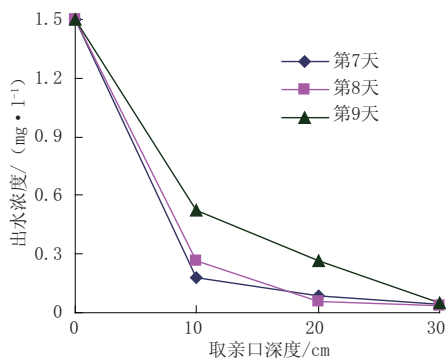


图4 河砂柱不同深度取样口 Zn 的出水浓度

但是河砂柱渗透速率较慢, 且在高水头供水时极易发生堵塞现象, 为得到去除效果好, 且渗透速率较快又不易堵塞的渗滤砂层, 将河砂筛分出的砾石部分添加至河砂中得到混合填料进行实验, 以筛选最优配比, 为实际应用提供参考。

2.2 混合填料实验结果

2.2.1 渗透速率变化

图5为四种填料30 cm厚填充柱渗透速率的变化图。由图5可知, 河砂与砾石质量比为1:0和2:1的填充柱渗透速率分别稳定在1.5和3 mm/min之间, 波动较小。而河砂与砾石质量比为1:1和1:2的填充柱渗透速率均呈现较大波动且有整体减小的趋势, 最终分别稳定在5 mm/min和6 mm/min。分析原因主要是由于砾石含量高时, 水流速度相对过快, 致使填充柱中细小颗粒重新分布, 从而使渗透速率发生变化。由此可见, 低渗透速率时, 河砂柱运行较为稳定。由实验结果可知, 河砂和砾石质量配比为1:0和2:1时(15 cm定水头), 其填充柱不易堵塞。

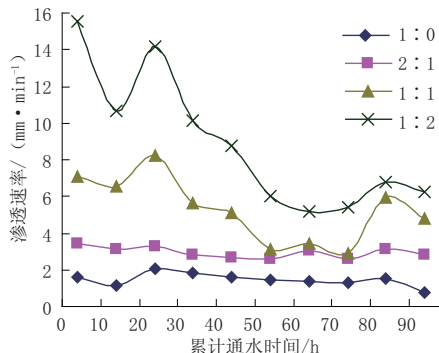


图5 四种不同配比填料填充柱渗透速率的变化

2.2.2 重金属锌的去除

图6为四种不同配比填料对Zn的去除率变化图, 图6表明, 实验期内河砂与砾石质量比为1:0的填充柱对Zn表现出很高的去除率(大于90%); 质量比为2:1填充柱在累计通水74 h内一直表现出较高的去除率(大于90%), 之后去除率急剧下降。河砂与砾石质量比为1:1和1:2

的填充柱表现出与质量比为2:1的填充柱相同的趋势, 分别于累计通水24 h和通水开始后即呈递减的趋势。这表明河砂层细颗粒含量越高, 河砂层对Zn的吸附去除能力越好, 且适当提高河砂层的渗滤速度对Zn的去除率依然很高。由此可知, 河砂和砾石质量配比为2:1的填充柱渗透速率较快, 且对Zn表现出良好的去除效果。

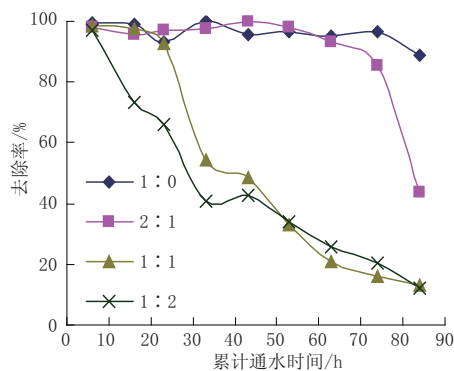


图6 四种不同配比填料对Zn的去除率变化

2.2.3 石油类的去除

图7是四种不同配比填料对石油类的去除率随时间的变化曲线。由图7可知, 四种配比填料对石油类的去除率随时间的变化均呈现出先低后高的走势, 河砂与砾石质量比为1:0、2:1和1:1的填充柱在实验期内对石油类的去除率分别由起初的60%、75%和73%均增加至约90%, 而河砂和砾石质量配比为1:2的填充柱对石油类的去除率随时间增加幅度不明显(~80%)。这可能是由于河砂对石油类的吸附是物理吸附, 而模拟水样中的石油类以乳化状态存在, 具有与河砂颗粒表面相同的双电层结构, 两者相遇时形成公共的反离子层结构而发生吸附。当填充柱出水速度较慢时(河砂与砾石质量比1:0填充柱), 河砂层间隙水则以层流状态流动, 致使部分乳状油在通水起始阶段不能发生碰撞吸附而随水流出, 从而使得其通水初期去除率较差; 当出水速度较快时(河砂与砾石质量比为2:1和1:1的填充柱), 河砂层间隙水流扰动加剧, 从而乳化油更易与河砂颗粒结合而被截滤; 当出水速度过快时(河砂与砾石质量比为1:2填充柱), 碰撞吸附不能充分进行, 使得出水去除效率略差。随着通水时间的延长, 石油类乳状颗粒粘附在河砂颗粒上形成较多吸附位点, 更易吸附石油类物质, 因而各种配比的填充柱对石油类的去除率增加。由此可见, 砾石含量适量增加可使砂层渗透速率适当提高, 可以增强填充柱对石油类的去除效果。河砂与砾石质量比为2:1和1:1的混合填料对石油类的去除效果最好。

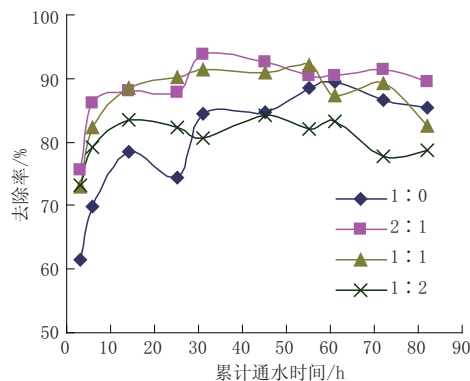


图7 四种不同配比填料对石油类的去除率变化

2.2.4 总磷的去除

图8为四种不同配比填料对溶解态P的去除率随时间变化图。由图8可知,四种配比的填充柱对溶解态P的去除效果差异较大。河砂与砾石质量比为1:0和2:1的填充柱对总磷的去除率随时间增加呈下降趋势。虽然河砂与砾石质量比为1:1和1:2的填充柱去除率曲线也呈现类似特征,但去除率降低趋势较配比为1:0和2:1的填充柱更为缓和。这是由于河砂颗粒表面形态多样,空隙较多,对磷的吸附即有物理吸附也有化学吸附。在实验前期(24 h)磷会在范德华力的作用下快速的被吸附在颗粒表面,随后作为配体与颗粒物表面的羟基发生交换反应,形成络合物。由于磷的化学吸附速率较慢,水流剪切力的作用致使磷再次进入水相,因而使得河砂与砾石质量比为1:0和2:1的填充柱在实验初期因水流扰动较小使得物理吸附占主导作用而表现出较高的去除效果,随后(24 h后)去除率开始缓慢降低,而配比为1:1和1:2的填充柱由于渗透速率较大,水流剪切力作用明显使得化学吸附占主导作用,因而在较长时间内对磷的去除率维持在40%~50%。由此可见,填充柱的砾石含量越少,渗透速率越慢,使得物理吸附起主要作用而有利于对磷的吸附去除。河砂与砾石质量比为1:0和2:1的填充柱对溶解态总磷的去除效果最好。

3 实验结论

河砂对锌的去除效果远优于沸石,且实验期内(9 d)一直保持较高的去除率(大于95%);定水头供水时,河砂柱砾石含量越少,渗透速率越慢,

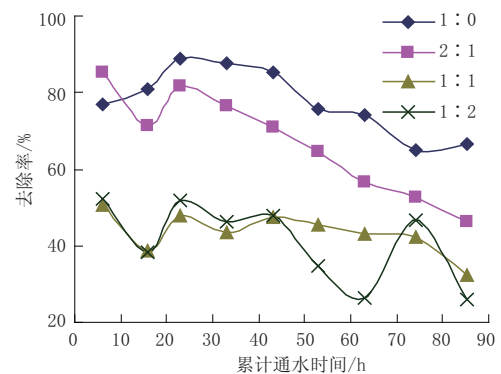


图8 四种不同配比填料对溶解态总P的去除率变化

相应的对锌和总磷的去除效果越好,但是对石油类的去除则是适当渗透速率的填充柱(河砂与砾石质量比为2:1和1:1)表现出较好的去除效果。因此,河砂与砾石质量比为2:1的填充柱渗透速率较快,对锌、石油类和总磷的去除效果最好,且去除率在通水84 h内保持较高水平。

4 结语

实际的城市道路径流污染物种类是非常多样的,其除了Zn,石油类,P以外还有COD、BOD、TSS、氮以及许多重金属等。同时实际的海绵城市道路渗滤单元内的填料除了砂石、砾石以外还有上层的植物、种植土层等。其对污染物的实际处理效果等还需要更加深入的研究。

本文仅通过构建一个简单的实验模型,旨在能够引导广大道路海绵城市设计工作者对填料处理污染物的能力和效果有一个初步的认识,以起到抛砖引玉的作用。

参考文献:

- [1] 国家住房和城乡建设部.海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建(试行)[Z].2014.
- [2] 中国建筑标准设计研究院.城市道路与开放空间低影响开发雨水设施(国家建设标准图集)[M].北京:中国计划出版社,2016.
- [3] 董天然,杨殿海.城市径流有机微污染物污染状况及生物渗滤单元对其处理效果的模拟的进展[J].广东化工,2017(9):126-131.
- [4] 王俊良,任玉芬,王雪梅,等.城市道路径流的排污特征[J].环境科学,2015(10):3691-3696.
- [5] 康爱红,许珊珊,肖鹏,等.新型生态渗滤系统处治道路径流污染试验研究[J].公路,2017(7):286-290.