

城市雨水径流多填料优化组合快速渗蓄试验研究

纪桂霞, 崔皓翔, 吴玲倩, 蒙勇翔, 王蒙, 王紫琪

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要: 通过雨水径流渗蓄处理系统的填料筛选及多填料分层组合渗蓄处理径流的效能试验, 分析了陶粒、稀土瓷砂、沸石、石英砂对城市雨水径流主要污染物 COD 及重金属 Pb、Zn 的吸附性能, 研究了多填料优化组合快速渗蓄系统对径流污染物的处理效能。结果表明: 陶粒、稀土瓷砂、沸石较石英砂具有更好的径流有机物及重金属污染物的吸附、离子交换等性能。将陶粒、稀土瓷砂、沸石组合作为径流渗蓄池的填料, 3 种填料各填装一层, 每层厚度均为 30 cm, 则自上而下填料不同的填装组合方式, 会导致径流渗蓄处理的效果有明显差异。渗蓄池填料自上而下的最佳分层组合为陶粒-稀土瓷砂-沸石, 此时, 径流 COD、SS 的渗蓄去除率分别高达 94.82%、97.82%, 对 Pb、Zn 的去除效率分别达到 81.05%、75.64%, 处理出水的 COD 约为 50mg/L、SS 约为 25 mg/L、Pb、Zn 浓度均约为 0.13 mg/L。对城市雨水径流的处理, 该多填料优化组合快速渗蓄池较传统石英砂快滤池更高效。

关键词: 城市雨水径流; 填料吸附; 优化组合; 渗蓄效能

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)02-0060-05

Experiment on rapid infiltration and storage of optimization combination of multiple fillers for urban storm runoff

Ji Guixia, Cui Haoxiang, Wu Lingqian, Meng Yongxiang, Wang Meng, Wang Ziqi

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Through the experiments of screening fillers and the runoff treatment effectiveness of the filler optimization combination multilayer infiltration filter, the paper analyzed the adsorption properties of ceramsite, rare-earth porcelain grit, zeolite and quartz sand to runoff major pollutants COD, Pb and Zn and studied the processing performance of rapid infiltration filter for runoff pollutants. The results showed that ceramsite, rare-earth porcelain grit, zeolite have better adsorption and ion-exchange properties for organic matter and heavy metal of runoff than quartz sand. So these three kinds of fillers were used in the runoff infiltration filter, and each kind of filler's thickness is 30 cm, with the different combinations of fillers, it would lead the obvious differences treatment effect of the runoff infiltration filter. The optimum hierarchical combination of infiltration and storage fillers from top to bottom is ceramsite, rare-earth porcelain grit and zeolite. The removal rate of COD and SS are up to 94.82%, 97.82% respectively, Pb and Zn are up to 81.05%, 75.64% respectively. The COD of treated water is about 50mg/L, SS is about 25 mg/L, Pb and Zn are all about 0.13 mg/L. For the treatment of urban runoff, the fillers optimization combination multilayer infiltration filter is more efficient than the traditional quartz sand filter.

Key words: urban rainwater runoff; adsorption of filler; optimization combination; efficiency of infiltration and storage

城市水环境污染主要由生活污水与工业废水的点源污染与雨水径流面源污染引起, 目前, 点污染源得到较严格控制与治理, 而城市雨水径流面源污染

所引起的水体污染日趋严重。我国北方气候干燥, 雨水量小、空气粉尘量大, 雾霾严重, 导致城市雨水径流中 SS、COD、重金属严重超标^[1-4]。对降雨量

收稿日期: 2015-09-01; 修回日期: 2015-10-14

基金项目: 沪江基金研究基地专项 (B14003)

作者简介: 纪桂霞 (1966-), 女, 山东夏津人, 硕士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事雨、污水处理与资源化利用方面的教学与研究。

较大的江南地区,由于空气及环境卫生质量差,其径流水质 SS、COD 污染严重,重金属 Pb、Zn 也偶有超标现象^[5-7]。为有效防止雨水径流导致的水环境污染问题,雨水径流污染的净化措施主要是土壤渗透净化、绿地、湿地、植物花园等生态净化技术,以及混凝、沉淀、过滤等^[8-13]物理、化学净化技术,其中快速渗滤是径流处理的主要常用技术,而在快速渗滤处理系统中,填料对水处理效果起着决定性作用,填料的粒径大小、空隙及级配等决定径流中悬浮颗粒物 SS 的去除效果。填料的组成、结构及比表面积等决定径流有机物及重金属等污染物的吸附去除效果好坏。目前径流的单一石英砂过滤处理效果差,能耗高,因此,随着目前新型材质填料的迅速发展,有必要对现行传统的单一石英砂填料径流过滤技术进行改进。本文采用多填料优化组合快速渗蓄系统处理城市雨水径流,以提高径流的快速渗蓄处理效果,为径流的多填料快速渗蓄处理实际工程应用奠定理论基础。

1 材料与方法

自行设计的快速渗蓄实验装置处理系统见图 1 所示。其主要组成部分是径流储存池 1 个,作为渗蓄池的聚乙烯材质箱体 2 个,单箱体的长、宽、高分别为 40、40、170 cm,渗蓄池内分别填装不同的填料,不同填料的层厚均为 30 cm,填料层下部为 5 cm 的承托层,池底部设排水管,排出渗滤层的处理水。两渗蓄池自上而下均设有 4 个取样口,上面取样口距箱顶 70 cm,其他取样口设在不同填料分界面处,间距均为 30 cm。此外还有水泵和流量计等。

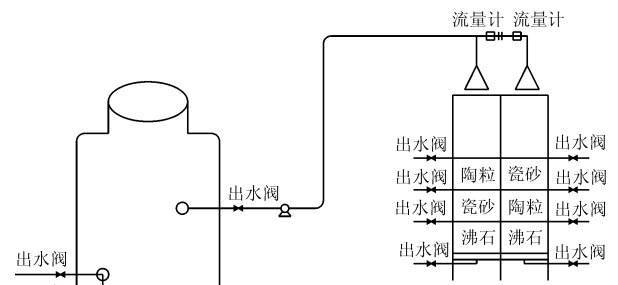


图 1 多填料快速渗蓄实验装置图

填料选用江西全兴化工填料厂和浙江神石矿业有限公司提供的 4 种填料:新型填料有稀土瓷砂,粒径 1.6~2.5 mm;斜发沸石,粒径 1.1~2.0 mm;生物挂膜用陶粒,粒径 2~3 mm;以及传统填料石英砂,粒径 1~2 mm,通过填料吸附径流中污染物的试验,筛选出对径流水处理效果较好的 3 种填料作为

渗蓄装置填料。

实验用径流水样在城市路面的雨水口处收集降雨时所形成的径流水样。本实验用径流取样点设在上海市军工路与海安路交叉的雨水口处,水样水质污染的主要监测指标有化学需氧量 COD、悬浮固体 SS 及重金属 Pb、Zn。径流水质指标监测均采用国际标准方法。

本实验分两步进行,首先进行填料吸附径流污染物性能实验,通过该实验筛选出径流污染物吸附性能好的 3 种填料作为渗蓄装置填料,以提高径流有机物及重金属等污染物的处理效果。然后用 3 种不同填料分 3 层填装渗蓄池,进行雨水径流渗蓄处理效能实验研究,从而确定 3 种填料处理雨水径流的最优分层复合方式,从而实现雨水径流多填料优化组合快速渗滤处理的高效性。

2 结果与分析

2.1 填料吸附径流污染物性能实验结果与分析

收集了一场大雨时的路面径流水样,分别取 100 mL 径流水样置于 4 个烧杯中,等量称取稀土瓷砂,陶粒,沸石,石英砂各 50 g,分别投加到 4 个盛有径流水样烧杯中,将烧杯置于振荡器上进行填料吸附试验,分别在吸附实验的 30、60、90、120、150 min 取烧杯中水样测定 COD、Pb、Zn,并计算径流各污染物的吸附去除率,考察填料对径流中有机污染物 COD 及主要重金属污染物 Pb、Zn 的吸附效果。实验结果见图 2~4 所示。

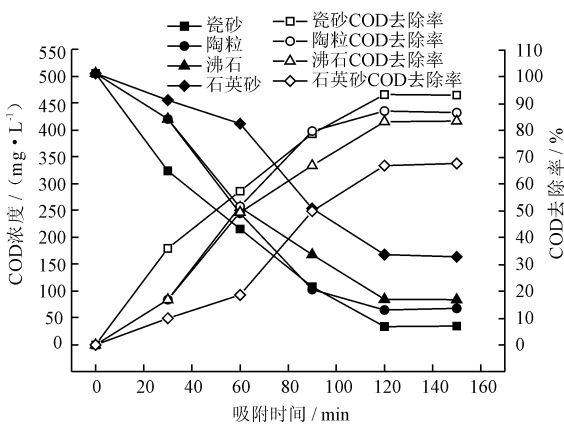


图 2 填料吸附径流中 COD 的变化曲线

由图 2 可知,随吸附时间的增长,4 种填料对 COD 的吸附去除效果逐步提高并最终趋于平衡稳定,吸附平衡时间均在 120 min 左右,此时,稀土瓷砂对 COD 的吸附效果最好,COD 去除率为 93.3%,陶粒、沸石对 COD 的吸附去除率分别为 87%、

83%,石英砂对 COD 的吸附效果最差,COD 的去除率仅为 67%。

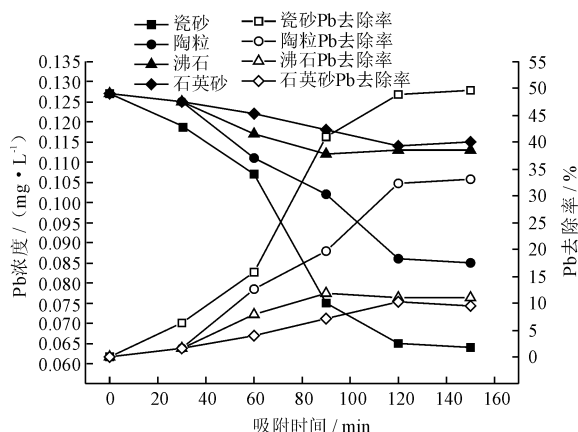


图3 填料吸附径流中 Pb 的变化曲线

图3表明,4种填料对Pb的吸附去除率随着时间的延长而增大,吸附时间约120 min左右,各填料对Pb的吸附均达到平衡。此时,稀土瓷砂和陶粒对Pb的吸附效果较好,其吸附去除率分别达到48.8%、32.3%。沸石和石英砂的吸附效果较差,吸附平衡时的Pb去除率依次为11.02%、10.24%。

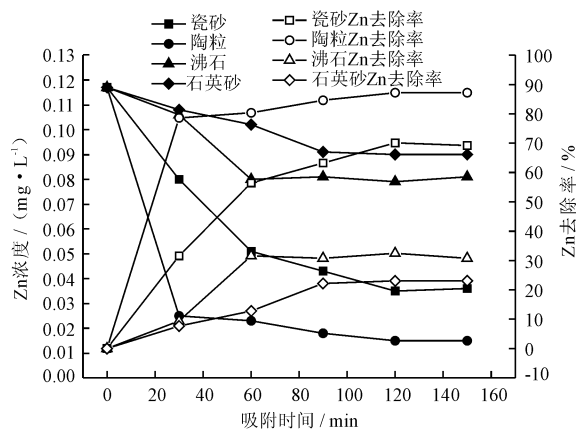


图4 填料吸附径流中 Zn 的变化曲线

图4显示,4种填料对Zn的吸附随着时间的延长去除率有所提高,其中陶粒的Zn吸附效率增长较快,石英砂增长缓慢。陶粒、稀土瓷砂、沸石、石英砂对Zn的最大吸附去除率分别约为87%、70%、32%、23%,其达到吸附平衡所需时间分别约为120、120、60、90 min左右。陶粒、稀土瓷砂对锌离子的吸附量较大,其中陶粒的吸附量最大。沸石对锌离子的吸附量较小。而石英砂对Zn的去除率及吸附量最小。

由此可见,4种填料对径流中有机物和重金属的吸附性能各不相同,这是由于各填料的组成和结

构不同所致,稀土瓷砂、陶粒均具有多孔结构,有较大的比表面积,因此,对径流的COD、Pb、Zn有较强的吸附性能。斜发沸石是一种多孔硅酸盐矿物质,独特的晶体结构使其对于有机物的吸附和重金属离子的交换性能良好。而石英砂结构密实,比表面积小,离子交换能力微弱,对径流污染物质的吸附蓄积效果最差,不适于作高效径流渗蓄处理填料,因此,本试验的快速高效渗蓄装置采用稀土瓷砂、陶粒、斜发沸石3种填料复合构建,不同于传统的单一砂填料过滤处理设施。

2.2 多填料优化组合渗蓄系统处理径流污染物效能分析

为了使稀土瓷砂、陶粒、斜发沸石3种填料在渗蓄处理中达到最佳的级配和过滤效能,将3种填料进行上下分层填装,每种填料填一层,层厚均为30 cm,填料组合自上而下分3种方式,第1种填料组合方式为:陶粒-稀土瓷砂-沸石;第2种填料组合方式为:稀土瓷砂-陶粒-沸石;第3种填料组合方式为:陶粒-沸石-稀土瓷砂,分别在3种填料的3种不同分层组合条件下进行径流水处理实验,在渗蓄装置运行稳定时,从取样口取样监测处理水的主要污染指标,研究不同填料分层组合对径流净化效果的影响。

收集一场污染较重的小中雨径流水样进行渗蓄实验,原径流水质指标 COD 1004mg/L、SS 1145 mg/L、Pb 0.702 mg/L、Zn 0.546 mg/L,在渗蓄装置运行稳定时,从渗蓄池各取样口取样监测处理水的主要污染指标 COD、SS 及重金属 Pb、Zn,并计算径流各污染物的处理效果,实验结果如图5~8所示。

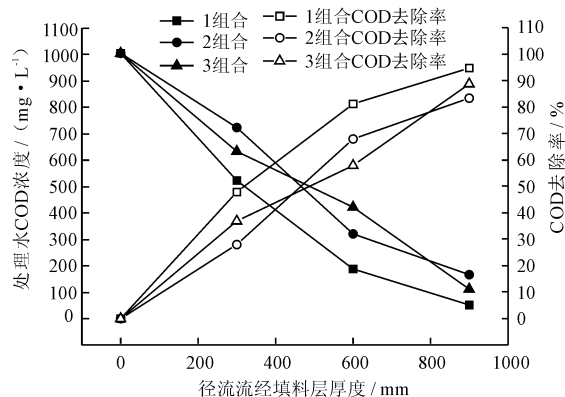


图5 径流多填料组合渗蓄系统处理的COD实验曲线

由图5可知,随径流流经填料层厚度的增加,COD的去除率逐渐增大。自上而下填料顺序为陶粒-稀土瓷砂-沸石(1组合)时,渗蓄池处理出水

的 COD 约为 50 mg/L ,COD 去除效率为 94. 82% ;陶粒 - 沸石 - 稀土瓷砂(3 组合)对 COD 去除效率为 88. 84% ,稀土瓷砂 - 陶粒 - 沸石(2 组合)对 COD 去除效率最低为 83. 47% 。因此,针对径流中有机物污染物的去除,渗蓄池中自上而下填料为陶粒 - 稀土瓷砂 - 沸石时径流 COD 处理效果最佳。

图 6 显示,随径流流经填料层厚度的增加,SS 的去除率逐渐增大,3 种填料 3 种不同填装组合方式,径流 SS 的去除率相差不大,陶粒 - 沸石 - 稀土瓷砂对径流 SS 的去除率最大为 98. 34% ,处理水的 SS 为 19 mg/L,稀土瓷砂 - 陶粒 - 沸石填料组合对径流 SS 的去除率最小为 96. 51% ,处理水的 SS 为 40 mg/L,陶粒 - 稀土瓷砂 - 沸石径流 SS 的去除率为 97. 82% ,处理水的 SS 为 25mg/L。由此可见,渗蓄池的不同填料填装方式对径流 SS 的去除无显著影响。这是由于 SS 的去除主要是靠填料空隙的物理截留作用,而填料的化学组成及结构、吸附性能、水流态和水中污染物浓度的变化等对 SS 的去除影响不大。渗蓄池的陶粒 - 稀土瓷砂 - 沸石、陶粒 - 沸石 - 稀土瓷砂两种组合方式的径流处理出水 SS ≤ 30 mg/L,取得很好的处理效果。

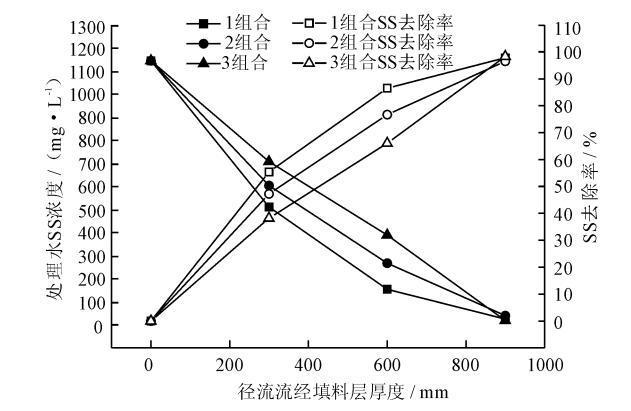


图 6 径流多填料组合渗蓄系统处理的 SS 实验曲线

图 7 ~ 8 显示,随径流流经填料层厚度的增加, Pb、Zn 的去除率逐渐增大,且 3 种填料不同的组合方式对 Pb、Zn 的去除率影响变化趋势一致,这是由于填料对重金属离子的蓄积主要取决于填料的吸附性能、离子交换能力、粒径级配以及径流水中的重金属离子的特性及离子浓度等因素,径流中 Pb、Zn 离子特性有很大相似性,因此,其去除变化规律也有相似性。陶粒 - 稀土瓷砂 - 沸石组合对 Pb、Zn 的去除效率最高分别达到 81. 05%、75. 64% ,处理水的 Pb、Zn 浓度均约为 0. 13 mg/L;稀土瓷砂 - 陶粒 - 沸石对 Pb、Zn 的去除效果最差,处理水的 Pb、Zn 浓

度分别为 0. 26、0. 2 mg/L。陶粒 - 沸石 - 稀土瓷砂对 Pb、Zn 的去除效率分别为 76. 21%、69. 41% ,处理水的 Pb、Zn 浓度均约为 0. 17 mg/L。因此,陶粒 - 稀土瓷砂 - 沸石组合即第一种组合较适于径流重金属处理。

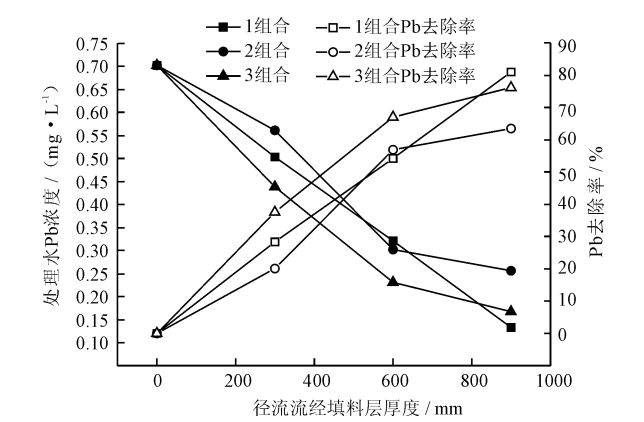


图 7 径流多填料组合渗蓄系统处理的 Pb 实验曲线

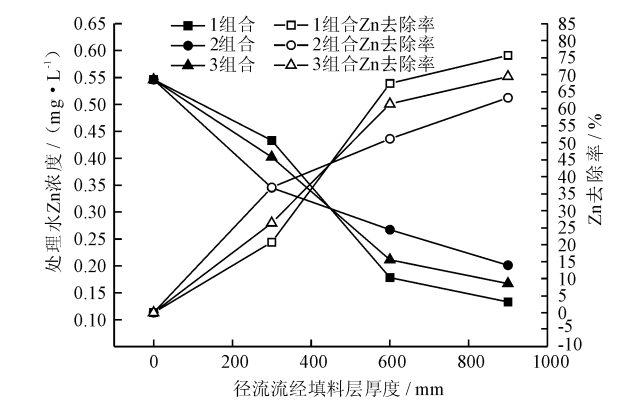


图 8 径流多填料组合渗蓄系统处理的 Zn 实验曲线

通过上述实验结果分析可知,陶粒、稀土瓷砂、沸石在渗蓄池中的不同分层组合方式对径流中有机污染物和重金属污染物的处理效果影响不同,这是由于不同填料本身的组成及化学结构、性质及吸附性能、离子交换性能不同,3 种填料的不同分层组合,使得填料的粒径级配以及水流特性和径流污染物的浓度等发生不同的变化,在不同填料不同分层组合协同作用下,导致渗蓄池的径流水处理效果不同,除径流中 SS 的去除受填料不同分层组合影响较小外,径流中 COD、Pb、Zn 的去除效果与 3 种填料的分层组合密切相关。综合分析上述填料不同组合对径流中 COD、Pb、Zn 的处理效果影响可知,渗蓄池中填料自上而下为陶粒 - 稀土瓷砂 - 沸石组合时,3 种填料粒径级配及空隙沿水流方向从大到小渐变,填料物理及化学性能协同作用使过滤、吸附、交换及化学反应处理径流中悬浮物、有机及重金属污染物

达到最佳效果,该填料的组合方式是多填料渗蓄池处理雨水径流的最优填料分层填装组合方式。

3 结 论

通过填料筛选及多填料分层填装组合快速渗蓄处理径流效能实验,得到以下几点结论:

(1)相对于雨水径流快速渗滤处理常用的单一石英砂填料,陶粒、稀土瓷砂、沸石具有更好的径流有机物及重金属污染物的吸附、离子交换等性能。选用陶粒、稀土瓷砂、沸石复合作为径流渗蓄池的填料,以实现径流污染物吸附、过滤的高效去除。

(2)陶粒、稀土瓷砂、沸石 3 种填料分层复合填装渗蓄池,随径流流经填料层厚度的增加,径流污染物的去除率逐渐增大。

(3)渗蓄池中 3 种填料不同的填装组合方式,会导致径流渗蓄处理的效果有明显差异,渗蓄池自上而下填料为陶粒-稀土瓷砂-沸石时,径流 COD 去除效率最高达到 94.82%,对 Pb、Zn 的去除效率分别达到 81.05%、75.64%;填料自上而下为稀土瓷砂-陶粒-沸石时,对 COD、Pb、Zn 的去除效果最差。填料不同的组合方式对径流中悬浮固体颗粒物 SS 的去除影响效果不显著,且 SS 去除率均达到 96.5% 以上,表明多填料复合过滤取得很好的效果。

(4)城市雨水径流的多填料渗蓄处理,填料自上而下为陶粒-稀土瓷砂-沸石的复合方式是适于城市雨水径流处理的最优组合,此时,处理出水的 COD 约为 50 mg/L、SS 约为 25 mg/L、Pb、Zn 浓度均约为 0.13 mg/L,实现了多填料优化组合渗蓄池对径流污染物的高效处理。

参考文献:

[1] 郭婧,马琳,史鑫源,等.北京城市道路降雨径流监测与分析[J].环境化学.2011,30(10):1814-1815.

- [2] 侯培强,任玉芬,王效科,等.北京市城市降雨径流水质评价研究[J].环境科学.2012,33(1):71-75.
- [3] 李倩倩,李铁龙,赵倩倩,等.天津市路面雨水径流重金属污染特征[J].生态环境学报,2011,20(1):143-148.
- [4] 张娜,赵乐军,李铁龙,等.天津城区道路雨水径流水质监测及污染特征分析[J].生态环境学报,2009,18(6):2127-2131.
- [5] 纪桂霞,王平香,邱卫国.上海市雨水径流水质监测与混凝沉淀试验研究[J].给水排水.2007,33(2):47-51.
- [6] 李立青,尹澄清,何庆慈,等.武汉市城区降雨径流污染负荷对受纳水体的贡献[J].中国环境科学,2007,27(3):312-316.
- [7] 甘华阳,卓慕宁,李定强,等.广州城市道路雨水径流的水质特征[J].生态环境,2006,15(5):969-973.
- [8] 车伍,刘燕,李俊奇.国内外城市雨水水质及污染控制[J].给水排水.2003,29(10):38-42.
- [9] Hatt B E, Ana D, Fletcher T D. Integrated treatment and recycling of storm water: a review of Australian practice [J]. Journal of Environmental Management, 2006, 79(1): 102-113.
- [10] Zhang Mulam, Chen Hao, Wang Jizhen, et al. Rainwater utilization and storm pollution control based on urban runoff characterization [J]. Journal of Environmental sciences. 2010, 22(1): 40-46.
- [11] 李梅,李佩成,于晓晶.城市雨水收集模式和处理技术[J].山东建筑大学学报.2007,22(6):517-520.
- [12] Aryal R, Vigneswaran S, Kandasamy J, et al. Urban stormwater quality and treatment [J]. Korean Journal of Chemical Engineering, 2010, 27(5): 1343-1359.
- [13] Grebel J E, Mohanty S K, Torkelson A A, et al. Engineered infiltration systems for urban stormwater reclamation [J]. Environmental Engineering Science 2013, 30(8): 437-454.