

玉溪市海绵工程透水砖堵塞规律研究

刘嘉豪¹, 杜 垚², 文 韬², 李雅雯¹, 张 耀², 冯晓楠¹, 罗 凡¹

(1. 华中科技大学 环境科学与工程学院, 湖北 武汉 430074; 2. 中国建筑第二工程局有限公司, 北京 100160)

摘 要: 为研究分析透水砖堵塞规律,采用配制合成的雨水径流模拟透水砖的堵塞过程,考察了透水砖初始透水系数、透水柱进水水位高度及堵塞溶液 SS 浓度对透水砖透水系数的影响。实验结果表明,透水砖堵塞过程分为快速堵塞、小幅恢复和慢速堵塞三个阶段,透水砖初始透水系数较大、透水柱进水水位较高、堵塞溶液 SS 浓度较低时,透水砖堵塞相对缓慢;经过长时间堵塞,透水砖最终透水系数相近。研究透水砖的堵塞规律,对透水砖在海绵城市建设中的推广使用具有一定的意义。

关键词: 透水砖; 堵塞规律; 透水系数; 堵塞实验

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2019)12-0023-05

Research on Plugging Pattern of Permeable Bricks in Yuxi Sponge Project

LIU Jia-hao¹, DU Yao², WEN Tao², LI Ya-wen¹, ZHANG Yao², FENG Xiao-nan¹, LUO Fan¹

(1. School of Environmental Science & Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China; 2. China Construction Second Engineering Bureau Ltd., Beijing 100160, China)

Abstract: In order to study and analyze the blockage pattern of permeable brick, the process of blockage of permeable brick was simulated by using synthetic rainwater. The results showed that the blockage process of permeable brick was divided into three stages: rapid blockage, small recovery and slow blockage. Experiments were carried out to study the factors related to the permeability coefficient of the permeable bricks, such as the initial permeability coefficient of the permeable brick, the inlet water level of the permeable column and the SS concentration of the clogging solution, which indicated that the blocking speed of the permeable bricks was slow when the initial water permeability coefficient of the permeable brick was large, the water level of the permeable column was deep, and the clogging solution concentration was relatively low. And after long period of blockage, the permeability coefficients of permeable bricks were similar. The research on the plugging pattern of permeable bricks had a strong significance for the promotion of permeable bricks in sponge cities.

Key words: permeable brick; plugging pattern; permeability coefficient; plugging experiment

为缓解城市水生态问题,改变传统理念,促进人与自然的可持续发展,“海绵城市”的概念应运而生。在海绵城市建设进程中,透水铺装材料以其良好的透水性、保湿性、吸声降噪、高强度、防滑、净化水质等优点逐渐代替传统铺装材料而广泛应用于城市的人行道、小区道路、停车场路面,对解决城市热岛问题、缓解城市排水管网压力、营造舒适的生活环境、维护城市生态平衡具有重要意义。

透水铺装材料根据材料不同分为透水砖、透水混凝土、透水沥青等,利用结构孔隙满足其透水性要求^[1]。云南玉溪海绵城市建设中,东风广场人行道采用透水砖铺装,提高了雨水下渗率,改善了地面积水现象。透水砖长时间使用容易导致孔隙堵塞,透水性能降低,而目前国内有关透水砖堵塞规律的研究非常匮乏,透水砖堵塞影响因素及规律分析亟待深入研究。

以玉溪海绵城市建设中铺设的透水砖为研究对象,分析透水砖在使用过程中的堵塞规律,为研制更耐堵塞的透水砖及透水砖使用过程中的清洗养护提供理论依据,从而推进透水砖在海绵城市中的广泛应用。

1 实验装置和方法

1.1 装置和材料

研究中透水砖试块采用市面常用的仿石透水砖,由骨料、水泥、胶结剂和水等搅拌压制而成^[2],实验试块尺寸为200 mm×200 mm×50 mm。堵塞溶液由直径<0.178 mm的自然土壤粉末和自来水配制而成。透水系数测量和计算方法参照《透水路面砖和透水路面板》(GB/T 25993—2010),实验装置如图1所示。

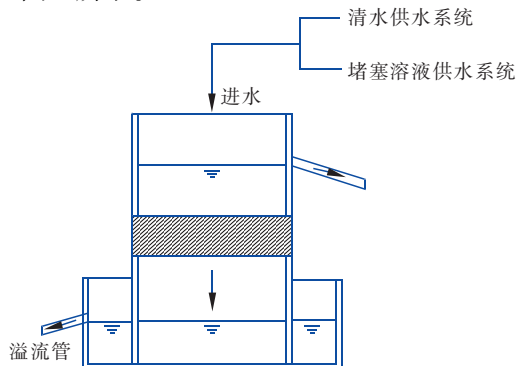


图1 实验装置示意

Fig.1 Schematic diagram of experimental device

1.2 实验方法

1.2.1 测定初始透水系数

实验采用定水头法^[3],定水头法比落水头法测量过程更复杂,但较为准确^[4-5]。透水性测定前用橡皮泥对试件四周及试块与透水柱间的缝隙进行密封,使其不漏水,水仅从试样的上下表面渗透。打开供水阀门,水从透水柱进入试块中,至溢流孔有水流,调整进水量保证透水柱中水位保持相对稳定,待溢流口水流稳定后,测量溢流口水流流量。

1.2.2 堵塞过程设计

测定初始透水系数后,打开水泵,堵塞溶液由供水系统通过透水柱流入试块,同时开始计时,并隔一段时间按照1.2.1中的方法测定透水系数。

为研究堵塞溶液SS浓度对透水砖堵塞过程的影响,需要配制不同SS浓度的堵塞溶液。由于缺乏玉溪市路面降雨径流水质相关数据,参考国内外相关文献资料^[6-11],选定SS浓度分别为700、1 400、2 100 mg/L。

为研究水位高度对透水砖堵塞的影响,共设计了三个不同进水水位高度(分别为20、100、200 mm),并进行了多次实验,其中典型试块的实验方案如表1所示。

表1 实验方案

Tab.1 Experimental schemes

项目	SS/ (mg·L ⁻¹)	水位/ mm	初始渗透系数/ (mm·s ⁻¹)	最终渗透系数/ (mm·s ⁻¹)
1组	1 400	200	0.107 7	0.038 8
2组	1 400	200	0.183 0	0.031 6
3组	1 400	200	0.376 5	0.071 9
4组	700	200	0.273 8	0.069 1
5组	2 100	200	0.311 0	0.002 3
6组	1 400	100	0.363 8	0.053 2
7组	1 400	20	0.398 0	0.022 2

2 结果与分析

2.1 透水砖堵塞历程分析

当堵塞溶液SS浓度为1 400 mg/L、进水水位高度为200 mm时,得到若干试块的透水系数历时曲线,其中具有代表性的曲线1如图2所示,对应实验方案中的第1组实验。其透水系数变化过程可以分三个阶段:第一阶段为0~20 min,加入堵塞溶液后,透水系数快速降低;第二阶段为20~30 min,透水系数有一定幅度回升;第三阶段为30~100 min,透水系数呈缓慢下降趋势,于60 min左右趋于稳定。

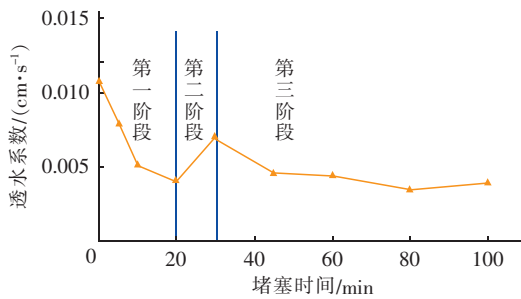


图2 典型透水系数历时曲线

Fig. 2 Typical permeability coefficient duration curve

通过分析典型透水系数历时曲线可知,第一阶段,堵塞溶液进入透水砖初期,因物理作用,堵塞颗粒截留于透水砖内孔隙;随着堵塞溶液持续进入透水砖,孔隙中暂不稳定的细小颗粒在水流冲刷下离开透水砖,导致透水系数小幅上升,出现图中第二阶段略有回升的现象;最后进入第三阶段,透水砖内堵塞颗粒或紧密依附在透水砖孔隙壁上,或彼此粘结聚成一团,导致试块孔隙逐渐堵塞,透水系数降低至稳定。

对实验中各组数据采用归一化表达,纵坐标取堵塞过程中实时透水系数与试块初始透水系数的比值,发现了与图2曲线中第二阶段出现时间不同的透水系数历时曲线,如图3所示。第1、2、3组实验分别对应曲线1、2、3,曲线1与图2曲线一致,小幅恢复阶段出现在20~30 min,而曲线2第二阶段发生在10~20 min,曲线3则提前至5~10 min,各组堵塞第二阶段出现的时间略有不同。

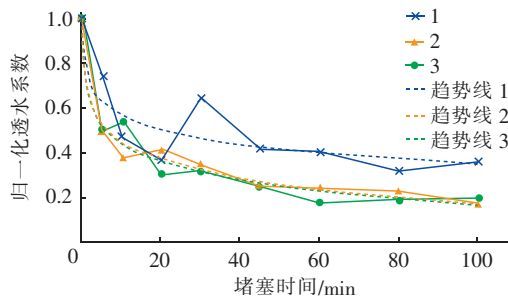


图3 不同孔隙率试块堵塞曲线

Fig. 3 Clogging curves of test block with different porosity

1、2、3组曲线的拟合趋势线方程如表2所示,各趋势线相关系数 R 均在0.90以上,相关性良好,拟合曲线基本可以表征透水砖试块堵塞历程的整体趋势。结合表1中各试块的初始透水系数值分析,试块1、2、3初始透水系数分别为0.107 7、0.183 0、

0.376 5 mm/s,各试块堵塞曲线第二阶段出现的时间不同,可能与试块孔隙率有关,透水砖初始透水系数一定程度上与孔隙率呈正相关,透水砖孔隙率大,堵塞颗粒进入孔隙后堵塞程度增加迅速,堵塞过程加快,第二阶段出现时间提前,反之同理。

表2 不同曲线的趋势线特征

Tab. 2 Fitting line characteristics of different curves

项 目	拟合方程	R
1 组曲线	$y = -0.096 \ln x + 0.790 2$	0.903 3
2 组曲线	$y = -0.116 \ln x + 0.712 7$	0.989 0
3 组曲线	$y = -0.122 \ln x + 0.723 6$	0.984 9

分析图中各拟合曲线,对其求导,其斜率分别为 $-0.096/x$ 、 $-0.116/x$ 、 $-0.122/x$,绝对值呈现递增规律,分析可知在相同反应条件下,试块初始透水系数越大,堵塞过程越快。

2.2 SS 浓度对透水砖堵塞影响

第3、4、5组实验中,控制透水柱内进水水位高度一致,均为200 mm,改变进水SS浓度分别为700、1 400、2 100 mg/L时,得到试块的归一化透水系数历时曲线,研究不同堵塞溶液SS浓度对透水砖堵塞的影响,对应堵塞曲线如图4所示。

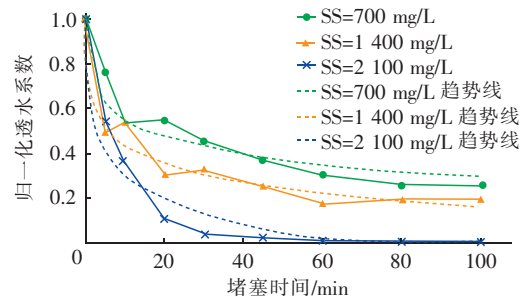


图4 不同SS浓度条件下堵塞曲线

Fig. 4 Clogging curves under different SS concentrations

第3、4、5组堵塞曲线的拟合趋势线方程如表3所示,拟合后堵塞曲线的相关系数 R 均在0.9以上,相关性良好,拟合曲线基本可以表征透水砖试块堵塞历程的整体趋势。对拟合曲线取导数求其斜率,分别为 $-0.112/x$ 、 $-0.122/x$ 、 $-0.157/x$,绝对值呈现递增规律,说明堵塞溶液SS浓度对透水系数影响显著,且进水SS浓度增大,试块透水系数下降越快,且稳定后的最终堵塞率越高,分别为76%、81%、99%。同时SS浓度越高,透水系数曲线达到稳定所需时间越短,分别为60、45、30 min。分析认为相同时间内、相同水位高度作用下,渗透进入透水砖的堵塞溶液总量相等,SS浓度越高,堵塞颗粒总量越多,

透水砖堵塞速度越快,堵塞程度越高。

表3 不同SS浓度下趋势线特征

Tab.3 Fitting line characteristics under different SS contents

项 目	拟合方程	R
SS = 700 mg/L	$y = -0.112 \ln x + 0.812 0$	0.962 2
SS = 1 400 mg/L	$y = -0.122 \ln x + 0.723 6$	0.984 9
SS = 2 100 mg/L	$y = -0.157 \ln x + 0.670 4$	0.976 6

2.3 水位高度对透水砖堵塞影响

第3、6、7组实验中,控制堵塞溶液SS浓度为1 400 mg/L,进水水位高度分别为200、100、20 mm时,研究不同水位高度对透水砖堵塞影响,得到归一化透水系数历时曲线,对应堵塞曲线如图5所示,拟合趋势线方程如表4所示。

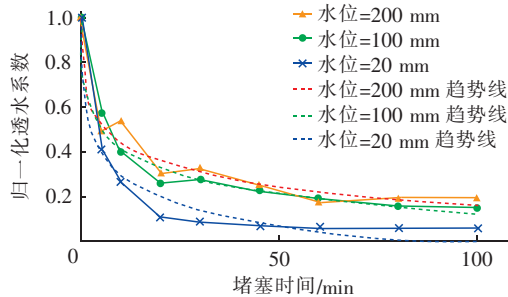


图5 不同水位条件下堵塞曲线

Fig.5 Clogging curves under different water levels

表4 不同水位条件下趋势线特征

Tab.4 Fitting line characteristics under different water levels

项 目	拟合方程	R
水位 = 200 mm	$y = -0.122 \ln x + 0.723 6$	0.984 9
水位 = 100 mm	$y = -0.128 \ln x + 0.713 0$	0.991 2
水位 = 20 mm	$y = -0.143 \ln x + 0.628 8$	0.982 3

拟合后堵塞曲线的相关系数 R 均在0.9以上,相关性良好,拟合曲线基本可以表征透水砖试块堵塞历程的整体趋势。对拟合曲线取导数求斜率,分别为 $-0.122/x$ 、 $-0.128/x$ 、 $-0.143/x$,绝对值呈现递增的规律,说明进水水头高度对透水系数影响显著,且进水水头越低,试块透水系数下降越快。

分析认为进水水头低,渗透流量小,堵塞颗粒动能小,经过试块时,颗粒不易被水冲走,较多地沉积在透水砖内部,同时水位低对透水柱内的水体扰动较小,堵塞颗粒易堆积在透水砖表面,造成表面孔隙的封堵。另外,由于缺少水分子的冲撞,堵塞颗粒之间产生吸引力,彼此聚集在一起,形成更大的黏土颗粒,导致第一阶段透水系数下降速度更快。

图4与图5中,分别有一条曲线只有快速堵塞

及慢速堵塞两个阶段,原因可能是堵塞溶液SS浓度太高或进水水位过低,导致堵塞过程过快,恢复趋势减弱,第二阶段未能在实验中体现出来。

3 结论

① 透水砖堵塞过程经历快速堵塞、小幅恢复、慢速堵塞三个阶段。

② 堵塞过程中透水系数与堵塞时间具有很好的对数关系,反映了透水砖在雨水径流作用下的堵塞规律。

③ 透水砖堵塞速度与透水砖孔隙率、堵塞溶液SS浓度及进水水位有关,且透水砖孔隙率越大、堵塞溶液SS浓度越高、进水水位越低,堵塞速度越快,经过长时间堵塞,最终渗透系数均达到稳定。

参考文献:

- [1] 路俊杰. 透水砖路面应用存在的问题及对策[J]. 中国市政工程, 2018(2): 16-18, 128.
Lu Junjie. Problems & countermeasures of permeable brick pavement application [J]. China Municipal Engineering, 2018(2): 16-18, 128 (in Chinese).
- [2] 王武祥. 透水性混凝土路面砖的种类和性能[J]. 砖瓦, 2003(5): 30-32.
Wang Wuxiang. Types and properties of pervious concrete pavement tiles [J]. Brick-tile, 2003(5): 30-32 (in Chinese).
- [3] 倪彤元, 胡康虎, 何锋. 降雨条件下透水混凝土渗透性能研究[J]. 城市道桥与防洪, 2011(11): 137-138, 143.
Ni Tongyuan, Hu Kanghu, He Feng. Study on permeability of pervious concrete under rainfall conditions [J]. Urban Roads Bridges & Flood Control, 2011(11): 137-138, 143 (in Chinese).
- [4] Yang J, Jiang G. Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials [J]. Cement Concrete Res, 2003, 33(3): 381-386.
- [5] 郑木莲. 多孔混凝土的渗透系数及测试方法[J]. 交通运输工程学报, 2006, 6(4): 41-46.
Zheng Mulian. Permeability coefficient and test method of porous concrete [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2006, 6(4): 41-46 (in Chinese).
- [6] 张千千, 李向全, 王效科, 等. 城市路面降雨径流污染特征及源解析的研究进展[J]. 生态环境学报, 2014, 23(2): 352-358.

- Zhang Qianqian, Li Xiangquan, Wang Xiaoke, *et al.* Research advance in the characterization and source apportionment of pollutants in urban roadway runoff[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23 (2): 352 – 358 (in Chinese).
- [7] 车武,刘燕,李俊奇. 北京城区面源污染特征及其控制对策[J]. 北京建筑工程学院学报, 2002, 18(4): 5 – 10.
- Che Wu, Liu Yan, Li Junqi. Characteristics of urban non-point pollution and control strategies in Beijing[J]. Journal of Beijing Institute of Civil Engineering and Architecture, 2002, 18(4): 5 – 10 (in Chinese).
- [8] 莫文锐,田森林,黄建洪,等. 百年一遇大旱后城区降雨径流污染时空差异与可生化性[J]. 地球与环境, 2012, 40(2): 227 – 231.
- Mo Wenrui, Tian Senlin, Huang Jianhong, *et al.* Temporal-spatial distribution of pollution and biodegradability in precipitation runoff in urban area after the once-in-a-century drought [J]. Earth and Environment, 2012, 40(2): 227 – 231 (in Chinese).
- [9] 周赛军,任伯帜,邓仁健. 湘潭市地表雨水径流污染的特性研究[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(10): 43 – 46.
- Zhou Saijun, Ren Bozhi, Deng Renjian. Study on the pollution characteristics of Xiangtan City road surface sediment[J]. Environmental Science and Management, 2008, 33(10): 43 – 46 (in Chinese).
- [10] 陈莹,赵剑强,胡博. 西安市城市主干道路面径流污染特征研究[J]. 中国环境科学, 2011, 31(5): 781 – 788.
- Chen Ying, Zhao Jianqiang, Hu Bo. Pollution characteristics of urban trunk road runoff in Xi'an City [J]. China Environmental Science, 2011, 31(5): 781 – 788 (in Chinese).
- [11] Gan H, Zhuo M, Li D, *et al.* Quality characterization and impact assessment of highway runoff in urban and rural area of Guangzhou, China [J]. Environ Monit Assess, 2008, 140: 147 – 159.



作者简介:刘嘉豪(1994 –),男,湖南新化人,硕士研究生,研究方向为海绵城市透水铺装及城镇生活污水处理技术。

E – mail: 245362483@qq.com

收稿日期: 2018 – 10 – 22

实施国家节水行动,
统筹山水林田湖草系统治理