

DOI: 10.3880/j.issn.1004-6933.2018.06.09

海绵城市透水砖堵塞规律试验

宋亚霖¹, 杜新强¹, 刘文娜¹, 冶雪艳¹, 张立杰²

(1. 吉林大学环境与资源学院, 吉林 长春 130021; 2. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130021)

摘要:通过一系列室内试验,测定透水砖在特定试验条件下的渗透系数,并分析其变化特征及成因。结果表明,由于城市雨水径流悬浮物含量高,导致透水砖在使用一段时间以后便会出现明显的堵塞问题,严重时可失去透水功能。进一步研究使用表面沉积物清除方法对透水砖透水性能的改善效果,结果表明,维护措施对透水砖渗透性能的恢复有一定作用,但处理效果有限。

关键词:海绵城市;透水砖;渗透系数;堵塞规律

中图分类号:TU984 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2018)06-0056-04

Experimental research on clogging laws of permeable brick in sponge city

SONG Yalin¹, DU Xinqiang¹, LIU Wenna¹, YE Xueyan¹, ZHANG Lijie²

(1. College of Environment and Resources, Jilin University, Changchun 130021, China;

2. College of Construction and Engineering, Jilin University, Changchun 130021, China)

Abstract: Laboratory experiments were carried out to determine the permeability coefficient of permeable bricks under specific experimental conditions. And an analysis of its changing characteristics and causes was made. The results show that the permeable brick will have obvious blockage after being used for a period of time, and will loss the infiltration capacity in severe cases due to high suspended matter content in the urban rainwater runoff. Further experiments were made to probe the effects of improved permeability of permeable brick by surface sediment cleaning method. The results show that this method has a certain recovery effect, but the effect is limited.

Key words: sponge city; permeable brick; permeability coefficient; clogging law

近年来,伴随着城市化进程,不透水下垫面面积迅速扩大,同时受全球气候变化与人类活动的影响,极端水文事件发生的概率上升,城市暴雨洪涝问题突出^[1-3]。海绵城市建设旨在改善城市生态环境,消除城市内涝隐患,实现城市雨水的“自然积存、自然渗透、自然净化”^[4-5]。传统的硬化路面阻碍自然水循环,不能有效促进降雨径流。海绵城市建设中通常采用透水铺装代替传统的硬化路面,以促进雨水入渗,提高雨水资源利用效率^[6-7]。

目前,透水铺装主要有3类:透水性路面砖、透水性混凝土以及透水性沥青混凝土^[8]。Borgwardt等^[9]的研究表明,透水砖在使用10年之后,其渗透率将降

为最初的10%~25%;张文静等^[10]在北京市海淀区双紫园小区透水路面的试验表明,透水砖在使用2年之后,透水性能便减弱较多,瞬时下渗速率变化明显;毛坤^[11]对透水砖透水性能的试验研究表明,颗粒物对透水砖孔隙的堵塞是导致透水速率下降的主要原因。同时,Kia等^[12]的研究表明,雨水径流中携带的杂质在透水混凝土孔隙中沉积是造成堵塞的主要原因。由此可见,透水铺装的堵塞问题是比较普遍的,但目前尚未引起足够和广泛的关注,系统的研究成果并不多见。本文以具有较高初始渗透率的陶瓷透水砖为对象,通过室内模拟试验,研究透水砖在城市雨水渗透过程中的堵塞规律及机理。

基金项目:国家自然科学基金(41672231,41472213);黑龙江省水利建设集团项目(3R2179144424)

作者简介:宋亚霖(1994—),女,硕士研究生,研究方向为城市雨洪利用与含水层补给管理。E-mail: 1299259341@qq.com

通信作者:杜新强,教授。E-mail:duxq77@163.com

1 透水砖堵塞试验

1.1 试验原理与计算方法

透水砖的透水性能采用渗透系数来表达,其测量依据水文地质学中的达西定律,计算公式为

$$K = \frac{QL}{AHT} \quad (1)$$

式中: K 为试样的渗透系数,cm/s; Q 为渗水量,mL; L 为试样的厚度,cm; A 为试样的过水断面面积,cm²; H 为水位差,cm; T 为时间,s。

1.2 试验装置与材料

试验装置是根据 GB/T 25993—2010《透水路面砖和透水路面板》中的方法自行设计的(图1),主要试验设备包括水体悬浮物浓度仪、水体悬浮物颗粒分析仪、分析天平、烧杯、量筒等。

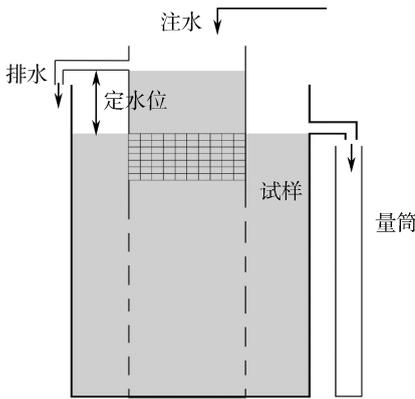


图1 渗透系数测量的试验装置

用于试验的透水砖为陶瓷透水砖(图2),该透水砖长、宽、高分别为18.5 cm、9 cm和5 cm;砖体可分为上下两层,上层厚度约为1.2 cm,颗粒直径也相对较小,下层厚度约为4 cm。

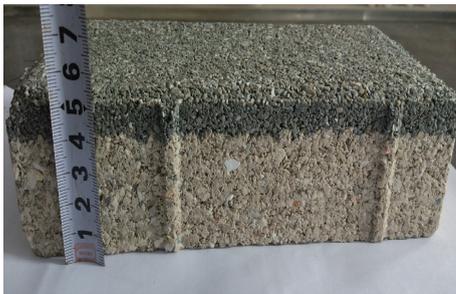


图2 陶瓷透水砖试样

试验过程中人工配制雨水悬浊液。取长春市城区多处路面低洼处降雨后积存沉积物,烘干并筛除粒径大于0.15 mm的较大颗粒物,并将其充分混合作为雨水中的悬浮物试样,最终获得的悬浮物粒径以3~

20 μm为主(表1)。项目组前期监测长春市雨水悬浊液质量浓度为400~10 000 mg/L,本次研究选择配制1 000 mg/L的悬浊液用于模拟实验。

1.3 试验步骤

1.3.1 注水试验

将透水砖试样装入测试装置中,试样四周用防水胶密封,待防水胶固化后,缓慢加入纯净水使试样饱和,并使水位高出透水砖表面约5 cm;然后开始持续稳定供纯净水(保持固定水头),待溢流水槽的溢流口流出的水量稳定后,记录每渗透500 mL水量所用的时间,计算砖体初始透水系数;

将供水水源更换为配制的悬浊液,模拟雨水径流入渗过程,记录每流出500 mL水所用的时间。测量和计算砖体透水系数并分析其变化规律。当入渗耗时大于初时耗时的10倍时,终止供水。

1.3.2 堵塞处理试验

将堵塞透水砖表面的沉积物采用虹吸法进行处理,用量筒测量悬浊液体积,并用浓度计测量悬浮物浓度,计算采用虹吸法收集到的悬浮物质量,对悬浮物进一步进行粒径测试;虹吸法处理完成后,再次供纯净水,测量并计算渗透系数恢复情况。

对透水砖内部沉积的悬浮物采用反向注水方法进行处理,冲洗砖体内部的悬浮物,之后进行悬浮物质量和粒径分析,并再次供纯净水,测量并计算透水系数恢复情况。

2 结果与分析

2.1 透水砖的渗透系数

以陶瓷透水砖B1为对象,开展纯水入渗的空白试验。结果表明,在纯净水入渗条件下,透水砖渗透系数基本稳定在初始值(0.107 cm/s)附近(图3),没有堵塞问题。

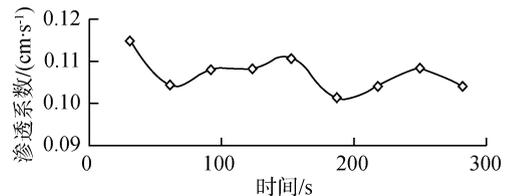


图3 纯水入渗条件下透水砖渗透性变化曲线

将供水水源更换为人工配制的模拟路面雨水径流的悬浊液,对2块同一批次的陶瓷透水砖(B1、B2)进行平行入渗试验。结果(图4)表明,随着雨水径流入渗时间的延长,砖体的渗透系数逐渐减小。其中,

表1 悬浊物粒径分布

粒径/μm	90~145	70~90	50~70	40~50	30~40	25~30	20~25	3~20	<3
占比/%	3.89	2.81	5.62	5.01	5.28	5.08	5.53	47.42	5.99

透水砖 B1 在雨水径流的渗入体积累积到 6.5 L 时,渗透系数已由初始的 0.107 cm/s 下降到 0.004 cm/s,下降幅度达到 96.3%;透水砖 B2 在雨水径流的入渗体积达到 5.5 L 时,渗透系数由初始的 0.068 cm/s 下降为 0.003 cm/s,下降幅度达到 96.6%。

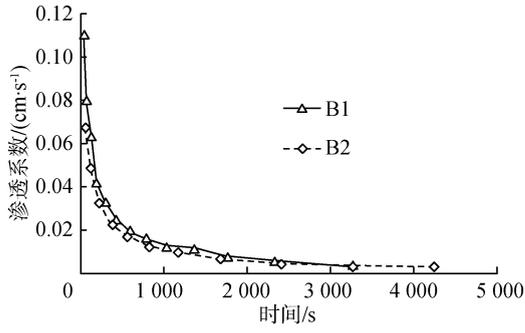


图 4 雨水入渗条件下透水砖渗透系数变化曲线

根据 GB/T 25993—2010《透水路面砖和透水路面板》中规定,透水砖的渗透系数至少要大于 0.01 cm/s。在本文试验条件下,陶瓷透水砖试样 B1 在累计入渗水量 5 L 时便已经失效;试样 B2 在 3.5 L 时失效。因此,以长春市多年平均降水量为 668.7 mm 为基准^[13],按海绵城市建设目标要求 70% 降水量就地消纳的指标,并假设悬浮物浓度为 1000 mg/L 时,透水砖在没有维护措施条件下,其有效透水年限仅为 1.5 年左右。虽然这个年限预测没有考虑实际场地更复杂的条件,但从试验结果可以看出透水砖因堵塞而失效的风险是很高的。

2.2 透水砖堵塞成因

随着入渗时间的延长,透水砖渗透系数持续下降,直至最后失效,表明透水砖在使用后出现了明显的堵塞现象。由于该试验使用纯水作为溶剂配制悬浮液,且在纯净水条件下透水砖的渗透系数稳定,故能引起透水砖堵塞的只能是悬浮液中的颗粒物。通过对收集的溶液进行浓度、粒径、体积测量,并计算出总悬浮固体的量,基于 GB/T 50145—2007《土的工程分类标准》,按黏粒 ($d <$

5 μm)、粉粒 ($d = 5 \sim 75 \mu\text{m}$) 以及砂粒 ($75 \mu\text{m} < d < 200 \mu\text{m}$) 的级别,对各次入渗过程中不同部位悬浮物进行质量守恒分析,结果见表 2,其中沉积于砖体表面的悬浮物采用虹吸法收集,砖体内部的悬浮物则采用反冲洗的方式收集。

由表 2 可知,在入渗水体中,粉粒级别的悬浮物含量最多,其次为砂粒以及黏粒。在各次入渗过程中,悬浮物的去向大致可以分为 3 种:①截留在砖体表面,即一部分大颗粒悬浮物因粒径过大而被截留在砖体表面并逐渐累积。受其影响,一部分较小粒径的悬浮物也会被滤除在表面,因此,在砖体表面可收集到不同粒径的悬浮物。②颗粒较小的砂、粉粒以及大部分黏粒,可随水流入渗入透水砖内部,其中一部分悬浮物将被滞留在砖体内部,这部分悬浮物在反冲洗的作用下,一部分可被水流带出,但有一部分将因运动路径曲折、粗糙等因素无法被冲洗出来(表 3)。③少量颗粒较小的悬浮物将随水流出透水砖。在各次悬浮物的回收试验中,均产生一定的损失量,其中,砂粒由于颗粒较大,其损失量的主体应是被滞留在砖体内部;黏粒粒径很小,其损失量主要是由于随水流入渗出透水砖;粉粒的损失量则可能兼而有之。根据悬浮物沉积位置的不同,透水砖的堵塞可分为表面堵塞和内部堵塞两种类型。

2.3 透水砖维护方法效果分析

目前对透水砖渗透性进行维护的最常用方法是高压水洗^[14],这种方法是为了清除砖体表面的沉积物。本文试验采用虹吸法模拟高压水洗去除砖体表面沉积物,即在每次注入悬浊液致透水砖堵塞后,利用虹吸法对透水砖表面沉积物进行清除,其对渗透系数影响见表 4。

从表 4 可以看出:在第 1 次注入悬浊液后进行表面清除,渗透系数由 0.003 cm/s 提高到 0.018 cm/s,提高了 6 倍,但只是恢复到原始渗透系数的 26%;但在第 2 次注入悬浊液后进行表面清除,渗透系数从 0.003 cm/s 提高到 0.006 cm/s,虽然在原有基础

表 2 入渗过程悬浮物质量分布

试样	悬浮物类型	粒径/ μm	百分比/%	入渗水中悬浮物质量/g	砖表面收集悬浮物质量/g	砖内部冲洗悬浮物质量/g	损失悬浮物质量/g
B1	砂粒	>75	19.98	1.40	0.60	0.10	0.70
	粉粒	5~75	67.35	4.71	3.22	0.17	1.32
	黏粒	<5	12.58	0.88	0.76	0.05	0.07
B2	砂粒	>75	19.98	2.29	1.20	0.04	1.05
	粉粒	5~75	67.35	7.73	4.51	0.17	3.05
	黏粒	<5	12.58	1.44	1.02	0.03	0.39

表 3 从透水砖内部冲洗出来的悬浮物粒径分布

粒径/ μm	90~145	70~90	50~70	40~50	30~40	25~30	20~25	3~20	<3
占比/%	4.86	1.72	4.01	3.99	5.83	4.90	6.20	54.66	6.34

表4 表面沉积物清除对透水砖渗透性的影响

入渗次数	入渗前的砖体初始 渗透系数/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	入渗过程中		入渗后砖体渗透 系数/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)	虹吸处理后砖体渗透 系数/($\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)
		入渗量/L	入渗时间/s		
1	0.068	5.5	4248	0.003	0.018
2	0.018	3.5	3972	0.003	0.006

上提高了2倍,但只是恢复到砖体最初始渗透系数(0.068 cm/s)的7%,效果已不明显。由此可见,由于不能有效清除砖体内部的堵塞物质,多次使用表面沉积物清除方法对砖体渗透性的恢复效果较差。

3 结论

a. 透水砖在城市路面雨水径流的入渗过程中会产生较为明显的堵塞现象,严重时可导致透水砖失效。

b. 透水砖的堵塞物质主要来源于城市路面雨水径流中的悬浮物,堵塞分布在砖体表面以及砖体内部两个部位。

c. 由于不能有效清除透水砖体内部的堵塞物质,高压水洗等维护方法仅清除砖体表面沉积物,效果较差。

参考文献:

[1] 湛宇字,陈星,田传冲. 临海市海绵城市建设实施方案编制实践与思考[J]. 水资源保护,2016,32(2):5-8,20. (ZHAN Zhongyu, CHEN Xing, TIAN Chuanchong. Practice and thoughts about implementation plan for sponge city construction in Linhai City [J]. Water Resources Protection,2016,32(2):5-8,20. (in Chinese))

[2] 贾绍凤. 我国城市雨洪管理近期应以防涝达标为重点[J]. 水资源保护,2017,33(2):13-15. (JIA Shaofeng, China should prioritize waterlogging prevention for recent urban storm water management [J]. Water Resources Protection,2017,33(2):13-15. (in Chinese))

[3] 汤鹏,王玮,张展,等. 海绵城市建设中建成区雨洪格局的量化研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2018,42(1):15-20. (TANG Peng, WANG Wei, ZHANG Zhan, et al. Quantitative research on rain-flood patterns of urban area in the construction of "Sponge Cities" [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition),2018,42(1):15-20. (in Chinese))

[4] 廖朝轩,高爱国,黄恩浩. 国外雨水管理对我国海绵城市建设的启示[J]. 水资源保护,2016,32(1):42-45,50. (LIAW Chaohsien, GAO Aiguo, HUANG Enhao. Enlightenment of rainwater management in foreign countries to sponge city construction in China [J]. Water Resources Protection,2016,32(1):42-45,50. (in Chinese))

[5] 左其亭. 我国海绵城市建设中的水科学难题[J]. 水资源保护,2016,32(4):21-26. (ZUO Qiting. Water science issues in sponge city construction [J]. Water Resources Protection,2016,32(4):21-26. (in Chinese))

[6] 胡庆芳,王银堂,徐海波,等. 海绵城市建设的5点技术思考[J]. 水资源保护,2016,32(5):152-153. (HU Qingfang, WANG Yintang, XU Haibo, et al. Technical thinking on sponge city construction [J]. Water Resources Protection,2016,32(5):152-153. (in Chinese))

[7] 张绿水,张青萍. 上海世博园区雨水生态化处理技术分析[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2011,35(4):131-135. (ZHANG Lyushui, ZHANG Qingping. Study on ecological treatment technology of rainfall in Shanghai World Expo [J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Science Edition),2011,35(4):131-135. (in Chinese))

[8] 孙川. 透水性材料在海绵城市建设中的应用[J]. 砖瓦,2017(10):85-87. (SUN Chuan. Application of pervious material in sponge city construction [J]. Brick-Tile,2017(10):85-87. (in Chinese))

[9] BORGWARDT S,陈义荣. 透水性混凝土路面砖路面现场的长期渗透性能研究[J]. 建筑砌块与砌块建筑,2008(2):37-41. (BORGWARDT S, CHEN Yirong. Study on long-term permeability of pervious concrete pavement [J]. Building Blocks and Block Construction,2008(2):37-41. (in Chinese))

[10] 张文静,丁跃元,张书函. 混凝土透水砖透水持久性的研究[J]. 新型建筑材料,2006,33(6):22-24. (ZHANG Wenjing, DING Yueyuan, ZHANG Shuhan. Study on water permeable durability of concrete permeable brick [J]. New Building Materials,2006,33(6):22-24. (in Chinese))

[11] 毛坤. 透水砖“透水时效”研究[J]. 市政技术,2015,33(4):178-179,182. (MAO Kun. On permeable aging of permeable brick pavement [J]. Municipal Engineering Technology,2015,33(4):178-179,182. (in Chinese))

[12] KIA A, WONG H S, CHEESEMAN C R. Clogging in permeable concrete: A review [J]. J Environ Manage, 2017,193:221-233.

[13] 薛国东,陈文萍. 长春地区降水量的区域分布规律及年内分配和年际变化[J]. 吉林水利,2007(12):16-17,19. (XUE Guodong, CHEN Wenping. Analysis for the basin distributing law and annual distribute and variety of the precipitation quantity in Changchun Zone [J]. Jilin Water Resources,2007(12):16-17,19. (in Chinese))

[14] 陈晋栋,王武祥,张磊蕾. 国内外水泥基透水混凝土路面砖的研究进展[J]. 建筑砌块与砌块建筑,2016(5):11-14. (CHEN Jindong, WANG Wuxiang, ZHANG Leilei. Research progress of cementitious pervious concrete pavement bricks at home and abroad [J]. Building Block & Block Construction,2016(5):11-14. (in Chinese))

(收稿日期:2017-12-23 编辑:彭桃英)