

# 透水混凝土路面堵塞及其恢复效果研究

谢西<sup>1</sup>, 姜成<sup>2</sup>, 林晨彤<sup>1</sup>, 赵金辉<sup>1</sup>

(1.南京工业大学 城市建设学院, 江苏 南京 211816; 2.南京共创建筑规划设计有限公司)

**摘要:**研究了堵塞物质类别和粒径对透水混凝土路面透水性能的影响,比较了几种恢复方法对堵塞的透水混凝土路面透水性能的恢复效果。结果表明:泥砂和含油污的泥砂对透水混凝土路面透水性能影响较大,砂砾和黏土次之。不同粒径砂粒堵塞透水混凝土时,0.3~0.6 mm 粒径范围的砂粒对透水混凝土路面透水性能影响最大。单一人工清扫、真空抽吸及强力气冲等措施对透水混凝土路面透水性能的恢复效果有限,高压水冲洗、人工清扫后高压水冲洗以及人工清扫后高压水冲洗再真空抽吸3种方法恢复效果较好。

**关键词:**透水混凝土路面; 透水性能; 堵塞; 恢复措施

透水混凝土路面(PCP)是低影响开发(LID)理念下海绵城市建设的重要技术措施之一,具有减少地表径流、缓解城市内涝、改善地表生态环境、调节城市温湿度和营造绿色舒适生活环境等作用。透水混凝土(PC)空隙率通常为15%~35%,众多贯通性孔隙使其具有良好的渗透性,随着使用时间延长,砂粒、泥砂、有机物碎屑和油污等会对PC的孔隙造成堵塞,导致其透水性能逐渐下降甚至演变为不透水路,增大了城市内涝的风险。

CJJ/T 135-2009《透水水泥混凝土路面技术规程》规定,PCP的透水系数应大于等于0.5 mm/s。加拿大学者Drake指出,当透水系数低于50 mm/h,表明PCP已经失效;而当透水系数低于250 mm/h,则需要恢复维护。PCP的堵塞是影响其推广和应用使用寿命的关键,目前中国关于PC堵塞过程及堵塞恢复的分析研究较少。该文试验研究堵塞物质类别和粒径对PCP透水性能的影响机理,比较几种恢复方法对PC透水性能的恢复效果。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 试验材料

#### 1.1.1 透水混凝土试件

试验采用1 000 mm×1 000 mm×100 mm的PC试件。根据CJJ/T 135-2009《透水水泥混凝土路面技术规程》规定,粗集料选用4.75~9.50 mm的单粒径

级配花岗岩碎石,水泥为P.O.42.5级硅酸盐水泥,减水剂为聚羧酸缓凝高性能减水剂。按重量比计算,水灰比为0.3,集灰比为3.7,减水剂添加量为水泥质量的0.3%。采用集料表面包裹法制备PC试件,具体方法为:先将全部细骨料和70%的水加入强制式搅拌机中预先搅拌60 s,然后加入50%的水泥和所有减水剂,继续搅拌60 s,最后将剩余的50%水泥和30%的水加入搅拌机搅拌120 s,拌好后加入定制模具中压实,在20℃和95%相对湿度下养护3 d,然后覆膜养护至28 d后测试。

#### 1.1.2 堵塞物质

① 砂粒。取河道未经筛分的天然河砂,经不同孔径的方孔筛筛选,得到粒径分别为:<0.075、0.075~0.15、0.15~0.3、0.3~0.6、0.6~1.18、1.18~2.36 mm共6个等级的砂粒;② 黏土。取自绿化带中的黏土;③ 泥砂。配制质量配比为天然河砂:黏土=1:4的混合物以模拟路面泥砂;④ 油污。配制质量比为废弃机油:天然河沙:黏土=1:1:4的混合物以模拟餐馆、汽修店等使用环境中PCP被含油物质堵塞的情况。

#### 1.1.3 试验器材

双环透水仪(外环直径600 mm,内环直径200 mm);自动水位控制器( $Q=0.5$  L/s);方孔筛一组(目数:8、18、30、60、100、200);3 kW单相汽油发电机;高压水枪(压力:0.3 MPa;流量:0.5 L/s);HC-T2103Y干、湿、吹三用桶式吸尘器(真空度 $\geq 30$  kPa,最大吹扫

收稿日期:2018-04-10

作者简介:谢西,女,硕士研究生,E-mail:22662081403003@njtech.edu.cn

气量:65 L/s)。

## 1.2 试验方法

### 1.2.1 不同堵塞物质重复堵塞对透水率的影响

称取不同堵塞物 20 g 加入 2 L 水中,搅拌均匀后使混合液缓慢渗透通过 PC 试件,待试件表面干燥后用毛刷将堆积在试件表面的松散堵塞物质扫除。将试件放置 3 d 后用双环定水头法测定各试件的透水系数。试验重复 10 次并测定每次堵塞后的透水系数以模拟 PCP 重复堵塞后其透水性能衰减变化规律。通常认为多孔路面中的渗流可近似通过达西定律来表示,即:渗透流速与水头损失成正比且与流经距离呈反比。当渗透过程看作垂直方向一维渗透时,渗透速率数值上等于渗透系数并可通过单位面积上单位时间的透水量来计算,如式(1)、(2)所示:

$$K = \frac{Q}{At} \cdot \frac{1}{I} = \frac{Q}{At} \cdot \frac{L}{dh} \quad (1)$$

$$v = \frac{Q}{At} = KI \quad (2)$$

式中: $K$  为渗透系数( $\text{cm/s}$ ); $Q$  为渗流量( $\text{cm}^3$ ); $A$  为试件断面面积( $\text{cm}^2$ ); $I$  为水力坡降; $L$  为水流流经试件的长度( $\text{cm}$ ); $h$  为水头差( $\text{cm}$ ); $t$  为试验持续时间( $\text{s}$ ); $v$  为渗透速率( $\text{cm/s}$ )。

### 1.2.2 不同粒径堵塞物堵塞特征研究

称取不同粒径砂粒 20 g 加入 2 L 水中,将 PC 试件置于直径 80 cm 的圆形水槽上,将混合物搅拌均匀后缓慢渗透过 PC 试件,待试块干燥后用毛刷将堆积在表面的砂粒收集并称量质量。不同粒径堵塞物的堵塞试验重复 10 次后,用双环定水头法测定各试件的透水系数以反映不同粒径对 PC 透水性能衰减变化规律的影响。此外,每次试验中同时称量水槽中不同粒径砂粒的质量并据此计算不同粒径穿透率。

### 1.2.3 堵塞的 PC 恢复试验研究

将受到不同种类物质堵塞的 PC 试件分别用人工清扫、高压水冲洗、真空抽吸、强力气冲、人工清扫后高压水冲洗和人工清扫后高压水冲洗再真空抽吸 6 种方法进行恢复处理。人工清扫法为用毛刷扫除 PCP 上的泥砂、枯枝落叶等;高压水冲洗方法采用高压水枪以 0.3 MPa 的水压及 0.5 L/s 流量冲洗试件表面 3 min;真空抽吸采用  $\geq 30$  kPa 的真空度抽吸 5 min;强力气冲采用  $(50 \pm 6.2)$  L/s 的空气量通过 DN25 管口吹扫试件表面 5 min。待试件完全干燥后用双环定水头法测定其透水系数,与堵塞恢复前的透水系数比较,通过恢复前后透水率恢复百分率反映恢复效果。

## 2 试验结果及分析

### 2.1 堵塞物质类别对透水性能的影响

砂粒、黏土、泥砂及含油污的泥砂 4 种堵塞物质重复堵塞对 PC 透水性能的影响见图 1。

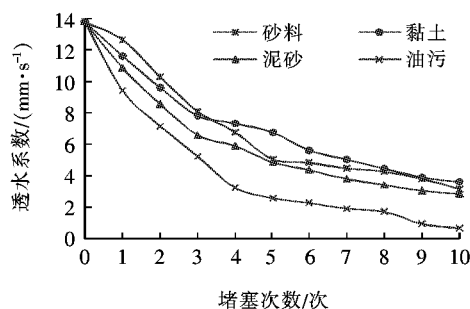


图 1 PC 多次堵塞后透水性能变化

从图 1 可以看出:随着堵塞次数的增加,PC 试件透水系数逐渐降低。被全粒径级配的砂粒堵塞的试件在前 5 次堵塞过程中,透水系数呈近似线性下降,而后下降幅度逐渐减小并趋于平缓。这是因为新 PC 试件空隙率高,最初受到砂粒堵塞时,进入孔隙的砂粒量是唯一限制因素,所以透水系数下降较快;随着堵塞次数的增加以及表层孔道内颗粒物累积,表层空隙减小,只有小粒径砂粒可进一步进入堵塞物之间的孔隙,而这部分穿透表层堵塞层的小粒径砂粒多数能进一步穿透 PC 面层,因此,透水系数下降的幅度会减小并趋于平缓。被黏土堵塞的试件在整个堵塞过程中透水系数下降较为平缓。因黏土粒径小,在水流运动过程中,黏土会沉积在 PC 深层或随水流出,仅有少量会黏附在孔道内壁,所以试件透水系数下降较缓慢。通过比较可以看出,被泥砂堵塞的试件透水系数降低较快。因泥砂粒径分布广,粒径较大的颗粒大量堵塞在孔隙中形成堵塞层骨架,使黏土更易截留在孔道内。含油污的泥砂可塑性和黏性较强,且由于油污的疏水性,这类堵塞物难以随水流出,大部分堵塞物进入透水混凝土较浅的部分,致使 PC 透水系数急剧下降甚至变成不透水混凝土,对透水性影响很大。

### 2.2 堵塞物质粒径对透水性能的影响

PC 受到不同粒径的刚性颗粒状物质堵塞时,堵塞物质的穿透率及 PC 透水系数的变化见图 2。

由图 2 可知:当堵塞物质为砂粒时,随着粒径增大,砂粒穿透率减小,而 PC 试件透水系数则呈现先减小后增大的趋势。小于 0.075 mm 的砂粒能随水流穿

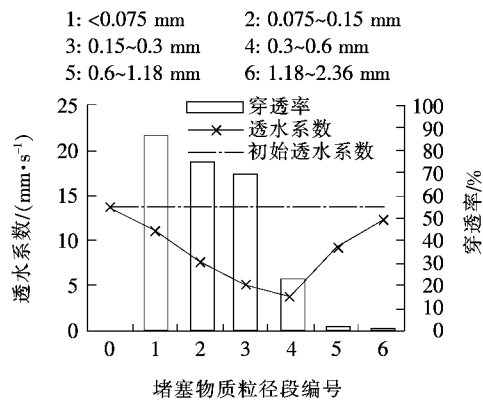


图 2 不同粒径堵塞物对 PC 透水性能的影响

过 PC 孔隙,只有少量砂粒堵塞在孔径极小或孔道方向变化处。0.3~0.6 mm 粒径的砂粒堵塞的 PC 试件透水系数只有初始透水系数的 27.1%,穿透率也仅为 23.37%;砂粒粒径为 0~0.6 mm 时,随着砂粒粒径增大,试件的透水率线性下降。粒径大于 0.6 mm 的砂粒,穿透率较低,大部分聚集在 PC 表面,Coughlin 等认为,大粒径堵塞物无法进入 PC 内部,对透水性能影响较小。0.3~2.36 mm 粒径段砂粒堵塞试件时,随着堵塞物粒径增大,试件透水率变大,受堵塞影响越小。

此外,试验表明:当堵塞物质是未经筛分的 0~2.36 mm 全粒径级配的砂粒时,堵塞 10 次后 PC 透水系数降至 0.98 mm/s。对于全粒径砂粒,细小的颗粒能进一步阻塞孔道内已堵塞的大颗粒间的空隙,在面层形成一定厚度的密实堵塞层,使 PC 透水系数急剧下降。若不及时清理,PCP 的堵塞速度及程度会远大于被单粒径级配的砂粒堵塞的路面,透水性能也会受到更严重削弱。

2.3 不同恢复方法的恢复效果分析

用不同恢复方法对受不同类别堵塞物质堵塞的 PC 试件进行渗透性恢复试验,比较不同恢复方法的恢复效果,试验结果见表 1。

由表 1 可知:人工清扫对受到砂砾、黏土和含油污的泥砂堵塞的 PC 试件恢复效果较差,但对受泥砂堵塞的试件有一定的恢复效果,受泥砂堵塞的试件经人工清扫后其透水率可恢复到初始透水率的 29.26%。这是因为 PC 试件被堵塞时间较短,堵塞物质单一且性质简单,所以清扫有一定作用。高压水冲洗、人工清扫后高压水冲洗及人工清扫后高压水冲洗再真空抽吸 3 种方法恢复被砂粒、黏土和泥砂堵塞的试件效果较好,其中人工清扫后高压水冲洗再真空抽吸效果最优,能使受砂粒、黏土和泥砂堵塞的试件透水率分别恢复至试件初始透水率的 54.95%、39.16%及 54.80%,Golroo 等通过研究也首推高压水冲洗再真空抽吸的方法来恢复 PCP 的渗透性。这是因为短时间内砂粒和泥砂与孔隙壁黏附不牢固且大部分堵塞物处于 PC 表层较浅处,高压水冲洗易将杂质冲洗出来,从而提高其透水性能。对受黏土和含油污的泥砂堵塞的 PC 试件,几种恢复方法效果均较差。就受黏土堵塞的 PC 试件而言,一方面由于黏土粒径极小,在堵塞过程中沉积在 PC 孔隙较深处,上述恢复方法难以触及孔隙深处的堵塞物质;另一方面 PC 内部孔隙的孔径和方向不规则,孔壁摩擦阻力大,恢复处理难以将深处的堵塞物质清理出来。含油污的泥砂具有黏性和疏水性等特殊性质,其进入孔隙后在挤压作用下形成紧密黏结的整体,牢固地黏在孔隙内壁并在其表面形成油膜,高压水冲洗时水流难以将堵塞物质冲散,因此恢复效果不明显。

表 1 不同恢复方法被堵塞透水混凝土的平均透水系数

堵塞物质种类	平均透水系数/(mm·s <sup>-1</sup> )						
	未被恢复时试件	人工清扫后	高压水冲洗后	真空抽吸后	强力气冲后	清扫+水冲后	清扫+水冲+抽吸后
砂粒	3.15	3.08	6.30	3.97	2.91	6.87	7.55
黏土	3.59	3.91	5.07	4.87	4.05	4.79	5.38
泥砂	2.79	4.02	5.79	3.51	3.36	6.84	7.53
含油污的泥砂	0.62	0.71	1.07	0.77	0.65	0.96	1.20

3 结论

(1) 受全粒径级配砂粒堵塞的 PC 随着堵塞次数

增加其透水系数呈现出先快速降低后趋于平缓的规律,受黏土堵塞的 PC 在堵塞过程中透水系数降低速率较均匀,受泥砂及含油污的泥砂堵塞的 PC 由于堵塞物质的黏性使得其透水性能衰退较快。长期受到各

类物质堵塞的PCP透水性能会受到很大影响,必须定期清理才能使其保持一定的透水性能。

(2) 不同粒径的刚性颗粒堵塞物质对PC透水性能影响不同。随着粒径的增大,砂粒穿过PC试件的穿透率逐渐减小,PC透水系数先减小后增大;0.3~0.6 mm单粒径级配的砂粒对PC透水性能影响最大,0~2.36 mm全粒径级配的砂粒会在PC表面形成密实堵塞层,对PC造成的堵塞更严重。

(3) 单独使用人工清扫、真空抽吸及强力气冲对PCP透水性能的恢复效果有限,其中人工清扫有时还会带来负面影响;高压水冲洗、人工清扫后高压水冲洗及人工清扫后高压水冲洗再真空抽吸3种方法恢复效果较好。不同恢复方法的恢复效果与PCP的使用年限、交通量、使用环境以及堵塞物质类别密切相关,堵塞越严重,恢复难度越大,恢复效果也越不理想。因此,PCP在日常使用过程中应定期维护保养使其保持良好的透水性能。

#### 参考文献:

- [1] 李阳,刘颖华,刘滋菁,等.基于LID理念的透水路面生态效益研究进展[J].中国给水排水,2017(2).
- [2] 邓森方.基于海绵城市理念的城市道路设计方式研讨[J].价值工程,2016(11).
- [3] Kia A, Hong S W, Cheeseman C R. Clogging in Permeable Concrete: A Review[J].Journal of Environmental Management, 2017, 193:221—233.
- [4] 杨杨,程娟,郭向阳.关于透水混凝土的孔隙率与透水系数关系的探讨[J].混凝土与水泥制品,2007(4).
- [5] 刘音钰,姜成,刘杰,等.透水混凝土路面及其恢复研究进展[J].环境科学与技术,2016(S1).
- [6] 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).
- [7] CJJ/T 135—2009 透水水泥混凝土路面技术规程[S].
- [8] Drake J, Bradford A, Seters T V, et al. Performance of Permeable Pavements in Cold Climate Environments[C]. Low Impact Development 2010: Redefining Water in the City. Proceedings of the 2010 International Low Impact Development Conference, San Francisco, California, Usa, 11—14 April,2010.
- [9] Beecham S, Kandasamy J, Pezzaniti D. Influence of Clogging on the Effective Life of Permeable Pavements[J]. Water Management, 2009, 162(3):211—220.
- [10] 霍亮.透水性混凝土路面材料的制备及性能研究[D].东南大学硕士学位论文,2004.
- [11] 姜成,赵金辉,吴梦柯,等.透水混凝土路面透水性能的影响因素研究[J].浙江建筑,2017(1).
- [12] 张金花,高建明,翁智财,等.聚合物对透水性混凝土性能的影响[J].混凝土与水泥制品,2006(1).
- [13] ASTM D3385—2009 用双环渗透仪现场测定土壤渗透率的试验方法[S].
- [14] 霍亮,高建明.透水性混凝土透水系数的试验研究[J].混凝土与水泥制品,2004(1).
- [15] 黄大伟,魏姗姗,王原原,等.透水混凝土孔隙率快速检测方法[J].建材发展导向,2014(24).
- [16] 张逆.透水路面渗水系数测试方法比较研究[J].公路交通技术,2016(1).
- [17] Henderson V, Tighe S L. Evaluation of Pervious Concrete Pavement Permeability Renewal Maintenance Methods at Field Sites in Canada[J].Canadian Journal of Civil Engineering, 2011, 38(12):1 404—1 413.
- [18] Chopra M, Kakuturu S, Ballock C, et al. Effect of Rejuvenation Methods on the Infiltration Rates of Pervious Concrete Pavements[J].Journal of Hydrologic Engineering, 2010, 112(39):426—433.
- [19] 李波,杨小龙.透水混凝土路面空隙维护前后堵塞物的位置与深度[J].中外公路,2013(6).
- [20] Coughlin J P, Campbell C D, Mays D C. Infiltration and Clogging by Sand and Clay in a Pervious Concrete Pavement System[J].Journal of Hydrologic Engineering, 2012, 17(1):68—73.
- [21] Golroo Amir, Tighe S L. Pervious Concrete Pavement Performance Modeling: An Empirical Approach in Cold Climates[J].Canadian Journal of Civil Engineering, 2012,39(39):1 100—1 112.