

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2011.05.010

基于入渗产流分析的透水砖地面铺装结构试验

张书函¹ 陈建刚¹ 赵 飞¹ 侯立柱^{1 2}

(1.北京市水利科学研究所 北京 100048 ; 2.中国地质大学水资源与环境学院 北京 100083)

摘要 :为了找出有利于降雨入渗、削减径流的透水地面铺装结构 ,通过人工降雨试验 ,研究不同铺装垫层结构透水地面的降雨入参与产流特性。根据 8 种铺装结构在径流削减、入渗量增加、开始产流时间滞后等方面的效果比较 ,推荐透水砖地面自上而下的铺装结构为“透水砖面层 + 无砂混凝土 + 单级配碎石”形式。

关键词 透水地面 铺装结构 降雨入渗 径流削减

中图分类号 :TV49 ;U416 文献标识码 :B 文章编号 :1006-7647(2011)05-0039-04

Experimental study on pavement structure of pervious bricks based on infiltration and runoff generation analysis//ZHANG Shu-han¹ , CHEN Jian-gang¹ , ZHAO Fei¹ , HOU Li-zhu^{1 2} (1. Beijing Hydraulic Research Institute , Beijing 100048 , China ; 2. School of Water Resources and Environment , China University of Geosciences , Beijing 100083 , China)

Abstract : In order to find pervious pavement structures in favor of rainfall infiltration and runoff reduction , the characteristics of the rainfall infiltration and runoff generation in the pervious pavements with different structures were studied by means of artificial rainfall experiments . According to the comparison of performances of runoff reduction , infiltration increase and runoff generation lagging among 8 kinds of pavement structures , the optimal pavement structure should be the mode of “ pervious brick and concrete without sand and single gradation gravel ” from top to bottom .

Key words : pervious pavement ; pavement structure ; rainfall infiltration ; runoff reduction

铺装透水砖地面是解决城市化带来的不透水面积增加、降雨入渗减少、径流量和峰值增大等问题的重要措施^[1-4]。由于缺乏统一的铺装标准 ,实际铺装的透水砖地面效果千差万别 ,有的表面所铺的砖透水或渗水 ,下面垫层却不透水 ,难以真正起到减少地面积水、增加入渗、削减洪峰流量的作用^[1]。因此 ,本研究通过室内模型试验 ,对不同铺装结构透水砖地面的降雨入渗产流规律进行研究 ,以期寻找最佳的铺装结构形式^[5-6] ,为透水地面的推广应用提供依据。

1 试验材料与方法

1.1 试验布置

试验装置如图 1 所示 ,在 4 个 3 m × 2 m × 1 m 的试验槽内铺装透水地面 ,采用人工降雨方式进行试验。土槽底有排水板 ,板上开直径为 1.0 cm 的小孔 ,槽下设出水口 ,可收集监测渗透的水量。

试验所用的人工降雨模拟装置如图 2 所示。采

用 1 800 散射喷头 ,MPR15EST 喷嘴 ,喷洒范围 1.2 m × 4.0 m ,呈矩形。喷头按矩形布置 ,共设 4 组 ,开启 1 组、2 组、3 组、4 组时设计喷洒强度分别为 14.84 mm/h ,29.68 mm/h ,44.50 mm/h ,59.36 mm/h ,降雨均匀度为 0.780 ~ 0.905。



图 1 透水砖地面铺装结构试验装置

试验共设 8 种铺装结构处理(如图 3 所示) ,分前后 2 组进行试验。①第 1 组处理编号分别为 A₁ , B₁ , C₁ , D₁ ,面层全部为透水砖 ,砖缝均用填缝砂填缝。4 种处理的结构层如图 3(a)所示。每种处理的土壤中均埋设 4 层 TDR 土壤水分测定探头 ,每层放

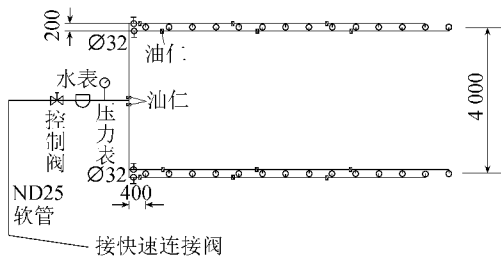


图2 人工模拟降雨装置示意图(单位:mm)

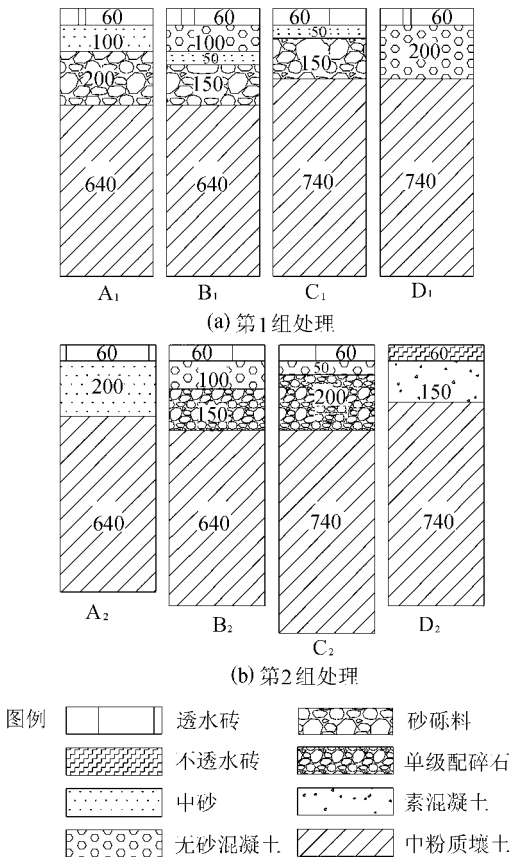


图3 不同处理透水砖地面结构示意图

(图中数字为材料厚度,单位:mm)

置2个TDR探头,水平间距1m,取其平均值作为该层的含水率。最上面一层探头距设计垫层底面10cm,以下间距均为15cm。②第2组处理编号分别为A₂、B₂、C₂、D₂,除了D₂作为对比采用相同厚度的不透水砖面层铺装以外,其他全为透水砖面层铺装。4种处理的结构层如图3(b)所示。土壤中埋设TDR土壤水分测定探头的方法与前4种处理相同。

1.2 试验材料

路基土壤为中粉质壤土,液限为28.8%,塑限为15.5%,塑性指数为13.3%,压缩系数为0.069 MPa⁻¹,压缩模量为23.613 MPa,最大干密度为1.77 g/cm³,最优含水率为14.8%,夯实后土壤渗透系数为2.28 × 10⁻⁴ mm/s。依据最大干密度和最优含水量,按照压实度0.9将路基土分层填装和压实。垫层所用材料主要有无砂混凝土、水泥、中砂、碎石、

砂砾料、单级配碎石。所用砂为不良级配砂,最大干密度为1.91 g/cm³,最小干密度为1.37 g/cm³,孔隙率为38%。按相对密度D_r = 0.70的干密度铺设砂砾料层和中砂层。无砂混凝土垫层铺设完72h后用直径100 mm的岩芯钻取样,深度为整个垫层厚度,检测结果见表1。试验用透水砖的尺寸为100 mm × 100 mm × 60 mm,抗压强度为44.3 MPa,有效孔隙率为7.45%,渗透系数为0.789 mm/s,满足规范^[7-9]的要求。面层地表坡度均为1%~2%。

表1 无砂混凝土垫层基本参数

厚度/ mm	抗压强度/ MPa	抗折强度/ MPa	渗透系数/ (mm·s ⁻¹)	孔隙率/ %
100	12.27	1.22	12.61	8.46
200	10.46	2.45	25.81	8.21
50	13.30	2.45	10.70	18.80

注:试验标准为JC/T 446—2000和DL/T 5150—2001。

1.3 试验方法

按照表2所示的降雨量和时间进行试验。在人工降雨过程中与降雨后观测记录不同垫层处理地表产流的开始时刻、结束时刻、产流量,不同深度土壤水分的动态变化量,以及降水渗透土层流出(简称排水)的开始时刻、结束时刻和渗透的排水量等。

表2 不同处理的人工降雨情况

降雨 编号	降雨日期	降雨 历时/min	降雨量/ mm	降雨对应 的重现期/a	针对 处理
N6-1	2006-07-08	60	59.36	6	A ₁ ~D ₁
N20-1	2006-07-20	120	94.09	20	A ₁ ~D ₁
N100-1	2006-08-05	120	118.72	100	A ₁ ~D ₁
N6-2	2006-08-26	60	59.36	6	A ₂ ~D ₂
N100-2	2006-09-06	120	118.72	100	A ₂ ~D ₂
N2-2	2006-09-21	40	39.57	2	A ₂ ~D ₂
N20-2	2006-10-21	120	94.09	20	A ₂ ~D ₂
N100-3	2007-04-26	120	118.72	100	A ₂ ~D ₂

2 试验结果及分析

2.1 前4种处理的降雨入渗性能

表3列出了前4种处理2次模拟降雨N6-1和N100-1的试验结果。从表3中可以看出,处理C₁和处理D₁经历2次降雨的雨量全部入渗,没有产生地表径流。处理A₁在第1次降雨即将结束时产生了积水,在N100-1降雨时未产生积水,而处理B₁经历2次降雨均有地表径流产生。试验表明处理C₁和处理D₁的渗透性最好,处理B₁最差,处理A₁次之。如果定义铺装层持水能力为透水地面面层和基层土壤以上各铺装层的有效储水容积^[10-12],则处理A₁、B₁、C₁、D₁的铺装层持水能力分别为92 mm、56 mm、48 mm、22 mm。处理B₁产生地表径流时累计入渗量刚好与铺装层持水能力相等,表明是蓄满产流。2次降雨的累计降雨量都小于处理A₁的铺装层持水

表 3 第 1 组处理的降雨入渗产流排水试验结果

处理编号	降雨编号	降雨持续时间/h	开始产流时间/min	产流结束时间/min	表面径流量/mm	开始排水时间/h	结束排水时间/h	排水量/mm	径流系数
A ₁	N6-1	1	58	60	0.000 25	—	—	0	0
B ₁	N6-1	1	56	60	0.001 67	—	—	0	0
C ₁	N6-1	1	—	—	0	—	—	0	0
D ₁	N6-1	1	—	—	0	—	—	0	0
A ₁	N100-1	2	—	—	0	2.33	32.25	13.19	0
B ₁	N100-1	2	55	125	20.27	2.33	45.75	14.81	0.17
C ₁	N100-1	2	—	—	0	2.33	22.25	6.58	0
D ₁	N100-1	2	—	—	0	2.33	46.25	8.04	0

注 本表涉及时间均为从降雨开始时刻计算。“—”表示没有产流或没有排水。

能力,而都大于处理 C₁ 和 D₁ 的铺装层持水能力。由于处理 C₁ 的铺装层持水能力比处理 D₁ 的强,因此相对而言处理 D₁ 的透水性能比处理 C₁ 的好。

4 种处理降雨后路基土壤 10 cm 和 25 cm 深处的土壤水分状况也反映了它们的渗透性能。从图 4 中可看出,雨后处理 D₁ 的 10 cm 和 25 cm 土壤水分比其他处理的高,这与处理 D₁ 的垫层为无砂混凝土、其他处理的垫层均有中砂和砂砾料有关。无砂混凝土的孔隙相对于中砂和砂砾料的来说较大,降雨很容易穿透该层直接到达基层土壤,使基层土壤提前下渗雨水,从而提高透水铺装地面的整体下渗能力。因此,综合上述分析,采用无砂混凝土垫层的透水铺装最有利于水分下渗。

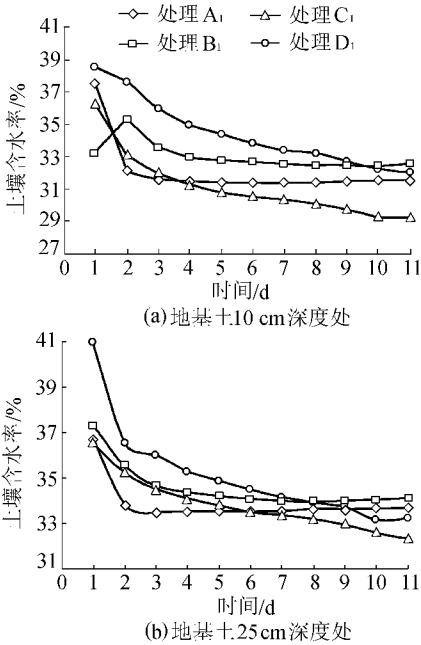


图 4 不同垫层处理雨后土壤水分动态

2.2 第2组处理的降雨入渗产流效果

根据第 2 组处理的降雨入渗产流试验结果,图 5 列出了不同透水铺装结构形式(处理 D₂ 除外)的径流系数、入渗出流量、产流时间(从降雨开始时刻计算)铺装系统储水量。从径流系数柱状图中可以看出,各种雨型情况下径流系数最小值均发生在处

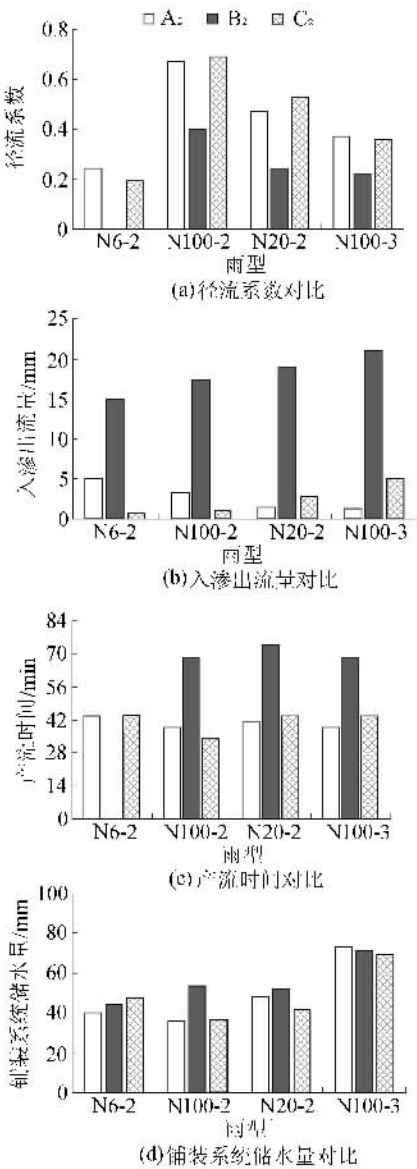


图 5 不同处理铺装系统入渗产流规律对比图

理 B₂ 处理 A₂ 和处理 C₂ 的径流系数相当。入渗出流量是指降雨入渗到铺装槽底部流出的水量,反映了铺装系统的整体入渗能力。从图 5(b)中可以看出,处理 B₂ 的入渗效果明显好于其他 2 种铺装结构。开始产流时刻表示透水铺装面层产生全面积水的时刻,反映了透水铺装系统削洪错峰的能力。B₂

铺装结构在各种雨型情况下的产流时刻均最晚,也就是说,处理 B_2 能够最大限度地推迟地表产流发生的时间,减轻区域排水压力的能力也最大。铺装系统储水量柱状图反映了透水铺装结构内各层及基层土壤的总体综合蓄水能力,从图中可以看出,各种铺装形式均有较好的蓄水效果,数值差异不大, B_2 铺装结构略占优势。由此可见, B_2 铺装结构最有利于下渗雨水和削减径流。

3 结 论

a. 第 1 组试验结果表明,采用无砂混凝土作为透水地面铺装的垫层,具有比中砂、砂砾料好的透水效果,无砂混凝土强度较高,便于满足相应的承载力要求,中砂垫层与透水混凝土相比具有造价低、施工简单的优点。

b. 第 2 组试验结果表明,透水混凝土和单级配碎石都具有较好的透水能力、较大的孔隙率、孔径,透水砖面层下面采用无砂混凝土+单级配碎石的铺装结构时,透水地面的径流削减与错峰和增加入渗效果最突出。

c. 综合分析认为,从增加渗透能力和削减径流的角度出发,透水地面的铺装结构宜采用“透水砖面层+无砂混凝土+单级配碎石”的结构形式,各个建构层的厚度可根据设计降雨重现期、径流量或峰值的控制要求通过相关计算确定。

参考文献:

[1] 丁跃元,陈建刚,张书函.北京城市雨洪利用现状与发

(上接第 29 页)

[3] 朱超,邱秀云,刘艳.“垂向异重流式水沙分离鳃”鳃片型式对水沙分离的影响研究[J].新疆农业大学学报,2008,31(6):72-75.

[4] 朱超,邱秀云,孙鑫.“垂向异重流式分离鳃”鳃片倾角对水沙分离影响的试验研究[J].人民黄河,2009,31(7):86-87.

[5] 朱超,邱秀云,孙鑫,等.“垂向异重流式水沙分离鳃”鳃片间距对水沙分离的影响研究[J].新疆农业大学学报,2009,32(2):78-81.

[6] 胡春宏,惠遇甲.高速摄影技术在泥沙研究中的应用[J].泥沙研究,1990,3(1):61-66.

[7] 张法星,许唯临,杨朝晖,等.采用高速摄像和数字图像处理技术求解强紊动明渠水流自由面[J].四川大学学报:工程科学版,2007,39(2):61-65.

[8] 王兴奎,邵学军,李丹勋.河流动力学基础[M].北京:中国水利水电出版社,2002.

[9] 陈洪松,邵明安.细颗粒泥沙的絮凝沉降特性[J].水利

展探讨[C]//北京市水务局.北京水资源可持续利用国际研讨会论文集.北京:中国水利水电出版社,2007:201-204.

[2] 潘安君,张书函,陈建刚,等.城市雨水综合利用技术研究与应用[M].北京:中国水利水电出版社,2010:1-11.

[3] 车武,李俊奇.城市雨水利用技术与管理[M].北京:中国建筑工业出版社,2006:1-8.

[4] 王波.透水性铺装与生态回归——城市广场生态物理环境优化[M].东营:石油大学出版社,2004:1-7.

[5] LEGRET M, COLANDINI V, Le MARC C. Effects of a porous pavement with reservoir structure on the quality of runoff water and soil[J]. The Science of the Total Environment, 1996, 28: 335-340.

[6] COLANDINI V, MICHEL L, YVES B. Metallic pollution in clogging materials of urban porous pavements[J]. Water Science and Technology, 1995, 33(1):57-62.

[7] JC/T 945—2005 透水砖[S].

[8] DB11/T 685—2009 城市雨水利用工程技术规程[S].

[9] DB11/T 686—2009 透水砖路面施工与验收规程[S].

[10] 陈建刚,张书函,丁跃元,等.基于雨洪利用的不同下垫面降雨产流规律研究[J].水利水电技术,2007(11):81-85.

[11] 侯立柱,冯绍元,张书函,等.透水砖铺装地面垫层结构对城市雨水入渗过程的影响[J].中国农业大学学报,2006(4):51-55.

[12] 岑国平,沈晋,范荣生,等.城市地面产流的试验研究[J].水利学报,1997,38(10):47-52.

(收稿日期 2010-10-13 编辑:高建群)

学报,2002,33(5):356-359.

[10] 钱宁,万兆惠.泥沙运动力学[M].北京:科学出版社,1983.

[11] 张瑞瑾.河流泥沙动力学[M].北京:中国水利水电出版社,2000.

[12] 日本土木学会.水力公式集:下册[M].铁道部科学研究院水工水文研究室,译.北京:人民铁道出版社,1976.

(收稿日期 2010-12-31 编辑:高建群)

