

DOI:10.14048/j.issn.1671-2579.2019.01.011

城市道路透水水泥混凝土路面净水特性研究

武吉¹, 凌天清^{2*}, 秦新³, 牟存玉⁴(1.重庆交通大学 土木工程学院, 重庆市 400074; 2.重庆交通大学 建筑与城市规划学院;
3.林同棧国际工程咨询(中国)有限公司; 4.重庆交通大学 材料科学与工程学院)

摘要:为研究透水水泥混凝土面层和透水水泥稳定碎石基层的净水特性,根据重庆市主城区雨水主要污染物组成调查分析结果,自制污染物径流雨水来模拟路面雨水。通过净水试验计算径流雨水中各污染物的去除率来评价路面结构的净水特性。试验结果表明:试验溶液通过路面结构层后 pH 值均有不同程度的提高;对各污染物去除率的大小顺序为 TP(总磷) > TSS(总悬浮物) > TOC(总有机碳);设计空隙率同各污染物质去除率之间存在着良好的线性正相关关系;透水水泥路面的净水效果要优于透水沥青路面;路面结构组合层的净水效果较两种单层结构有一定幅度的提高。

关键词:透水水泥混凝土面层;透水水泥稳定碎石基层;净水特性;污染物去除率

随着中国经济的快速发展以及城镇化建设的不断加快,道路作为城市发展的纽带也得到迅速的发展。透水水泥混凝土是指由水泥黏结剂、级配集料和水按照一定配合比搅拌成型的混凝土。因其具有良好的吸声降噪性能、抗滑性能、一定的净水特性以及雨天减少水雾的性质,获得国外学者更加深入系统的研究,并在道路建设中逐步推广应用。

路面污染物种类较多,这些污染物的来源主要分为 3 大类:汽车尾气、汽车漏油以及汽车部件的磨损残留物。此外,雨水携带空气中的部分污染物,这些污染物随着降雨径流至地下,一方面会污染地下水;另一方面会造成公路周边土壤土质的恶化,使得道路两旁的植被枯萎,影响道路整体美观。所以研究透水路面对于径流污染物的净化具有重要的环保意义。

该文依据国内外透水水泥稳定碎石基层已有级配

研究及有关规范,提出最大公称粒径分别为 16、13.2、9.5 mm 的 3 种透水水泥混凝土面层试验级配,结合 3 种不同的水胶比(0.30、0.35、0.40)和设计空隙率(15%、20%、25%),并以设计强度和透水系数为基准,采用正交试验方法来确定透水水泥混凝土的配合比。

为使透水水泥混凝土的空隙率达到预定值,通过配合比计算,得到不同设计空隙率下透水水泥混凝土面层各材料的单位体积用量,依据计算结果制备试件并检验实际空隙率是否满足设计空隙率的要求。具体方法如下:分别采用 T0308—2005 和 T0309—2005 方法测定集料的毛体积密度和各级配集料紧密堆积密度;计算各级配集料的合成毛体积密度和紧密堆积空隙率;计算单位体积集料用量;依据设计空隙率计算单位体积水泥浆体用量;最后根据不同水胶比计算单位体积水泥用量和用水量。依据以上计算结果制备试

- *****
- [7] 孙立军,刘喜平.路面使用性能的标准衰变方程[J].同济大学学报:自然科学版,1995(5).
- [8] 徐剑,石小培,秦永春.乳化沥青冷再生路面性能衰变与病害特征分析[J].公路交通科技,2015(5).
- [9] 王静,李波,马伟中,等.甘肃省河西走廊地区高速公路沥青路面养护对策[J].中外公路,2018(1).
- [10] 李小重.微表处在叶信高速公路路面养护中的应用[J].

中外公路,2017(3).

- [11] 敬超,张金喜.沥青路面性能预测研究综述[J].中外公路,2017(5).
- [12] 孙贵杰.沙漠油区公路养护调查研究[J].中外公路,2017(2).
- [13] 张艳红,李金明,黄海明.沥青路面性能衰变模型综述[J].河北交通职业技术学院学报,2015(3).

收稿日期:2018-03-17

作者简介:武吉,女,硕士研究生,E-mail:413698789@qq.com

*通信作者:凌天清,男,博士,教授,E-mail:277087149@qq.com

件,采用排水法测定并计算各试件的有效空隙率和理论空隙率,结果表明:配合比计算方法得到的透水水泥混凝土实际空隙率能较好地契合设计空隙率的要求。

透水水泥稳定碎石基层选用水泥剂量 8%、含水率 3.9% 的最佳配合比作为此次试验所用配合比。试件采用插捣法成型,养护方式与普通水泥混凝土相同。使用自制溶液来模拟路面污染物雨水,通过测定渗透前后溶液各污染物浓度,计算去除率来研究透水混凝土面层及水泥稳定碎石基层的净水特性。

1 道路路面径流雨水研究

1.1 径流雨水污染物调查

重庆地处四川盆地东部,属亚热带季风湿润气候,雨量丰富,年降水量 1 000 mm 以上,酸雨灾害较为严重。通过对重庆市主城区径流雨水中的主要污染物进行调查研究,制备试验溶液,评价透水性路面径流雨水的净化能力。

宋迁凤通过对重庆城区主干路、次干路和居民区的径流雨水进行采样监测,得出重庆城区径流雨水中的主要污染物为总悬浮物(TSS)和化学需氧量(COD);郝丽岭通过分析重庆城市某居民区不同路面材料形式的径流雨水污染特性,得出沥青路面和水泥混凝土路面的主要污染物均为 TSS、COD、TN(总氮)、TP(总磷),而且沥青路面径流雨水各项污染物指标均较水泥混凝土路面的高;张千千等通过在雨季对重庆地区地表径流污染物进行分析研究,得出主要污染物 TSS、COD、TN、TP 的均值都超出国家地表水环境质量 V 类标准。综上所述:重庆主城区地表径流的主要污染物为 TSS、COD,其次是 TN、TP。同时酸雨的污染也不容小觑,应当在模拟试验中予以考虑,以便充分探索透水混凝土的净水效果。

1.2 测试方法

该文主要针对 pH 值、TSS、COD、TP 共 4 个指标进行监测分析。其中,COD 与总有机碳(TOC)存在以下的关系: $TOC = 12COD/32$,而 COD 更能直观地表征径流雨水中有有机物总量。因此次试验干扰因素较少,故用 TOC 代替 COD。

(1) pH 值的测定

将待测水样倒入小烧杯中并编号,采用试验室 pH 计 ST2100 测定各待检水样的 pH 值。

(2) TSS 的测定

总悬浮物采用重量法进行测试,取待检水样 100 mL 进行吸滤试验,称取 0.45 μm 滤膜吸滤后烘干至恒重后的质量,再计算悬浮固体的质量百分数。

(3) TOC 的测定

采用日本岛津 TOC-VCPH 总有机碳分析仪,通过燃烧氧化-非色散红外吸收法对水样的 TOC 进行测试。先测定总碳和无机碳标准溶液并绘制校准曲线,再将待测水样放置在总有机碳分析仪中进行 TOC 测定。

(4) TP 的测定

将不同剂量的磷酸盐标准溶液(10 $\mu\text{g/L}$)与混合试剂反应,通过分光光度计于 710 nm 处测定其吸光度,绘出总磷标准曲线。该方法称作钼酸铵分光光度法。

1.3 试验溶液的配制

因实地收集雨水受多种因素的影响,且污染物含量的离散性较大、均一性无法保证。故此次试验采用在自来水中加入一定的化学试剂来模拟污染径流雨水,通过滴加浓盐酸的方式控制径流雨水的 pH 值。化学需氧量(COD)的模拟配置浓度为 300.0 mg/L,换算成总有机碳(TOC)则为 112.5 mg/L。室内配制雨水的主要测定指标、配制试剂及其浓度要求见表 1。

表 1 模拟径流雨水的配置要求

配制试剂	测定指标	模拟配制浓度
浓 HCl	pH 值	4
硅藻土	TSS	800 mg/L
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5$	TOC	112.5 mg/L
KH_2PO_4	TP	1.500 mg/L

试验用模拟径流雨水的配制流程如下:

(1) 通过摩尔质量的相关换算,预选 3 个梯度质量的试剂分别用电子天平进行精确称量,然后倒入烧杯中用玻璃棒搅拌均匀,再掺入定量自来水中搅拌均匀,并取样。

(2) 对 3 个试配水样污染物进行浓度检测。根据试验结果绘制试剂掺入量-污染物浓度散点图并进行线性拟合,如图 1 所示。采用线性内插的方式,截取模拟配制浓度对应的试剂掺入量即为模拟径流雨水最佳试剂掺入量,即:硅藻土、 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_5$ 、 KH_2PO_4 最佳掺量分别为:22.796、8.299 6、0.121 5 g。

(3) 向模拟配制雨水中滴加一定的浓盐酸溶液,并反复使用酸度计进行测定,直至预定的 pH 值为止。

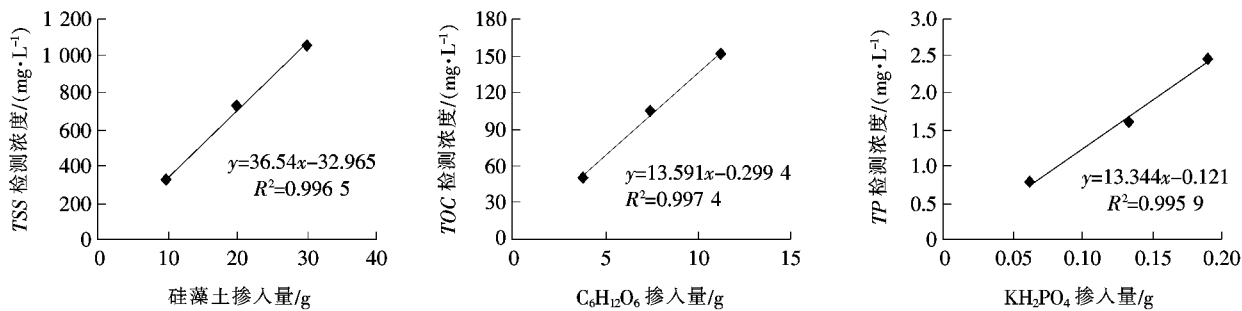


图 1 不同梯度试剂掺入量同检测指标的关系

2 不同空隙率试件净水特性研究

依据模拟雨水最佳试剂掺入量,按污染物浓度: TSS 为 800 mg/L, TOC 为 112.5 mg/L, TP 为 1.500 mg/L, pH 值为 4, 配制 3 份 30 L 的模拟雨水。其中 pH 值通过滴加浓盐酸调控。分别对设计空隙率为 15%、20%、25% 的透水混凝土试件进行模拟降雨试验。试验容器规格为 30 cm×15 cm×60 cm, 试件尺寸为 30 cm×15 cm×15 cm (15 cm 为试验的标准厚度), 在距试件顶部 30 cm (用于增压) 处有一块降雨面板, 在试件覆盖范围内开孔, 孔径 1 cm, 均匀分布。因重庆城区降雨 80% 为小雨, 故模拟降雨试验的雨强大小定为 4.1 mm/10 min, 降雨时间为 30 min。

收集模拟降雨试验后的溶液进行各项指标测定, 并计算污染物去除率。其中, 污染物去除率按式(1)计算:

$$\lambda = \frac{\delta_0 - \delta_1}{\delta_0} \times 100\% \tag{1}$$

式中: λ 为各污染物去除率(%); δ_0 为试验溶液各污染物浓度(mg/L); δ_1 为经降水试验后试验溶液中各污染物浓度(mg/L)。

通过试验和计算, 得到结果如表 2 所示。

表 2 不同空隙率试件的净水效果

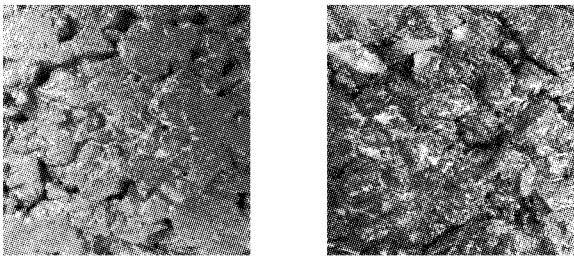
设计空隙率/%	各指标去除率/%			pH 值 (上升到)
	TSS	TOC	TP	
15	24	6	9	5.03
20	33	12	34	6.47
25	37	16	68	7.97

由表 2 可知: 透水水泥混凝土能中和径流雨水中的 H^+ , 提高雨水 pH 值; 同时对其他污染物有一定的净化作用。对 TSS 的净化率达到 24%~37%, TOC

的净化率达到 6%~16%, TP 的净化率达到 9%~68%。可以发现, 各污染物去除率同设计空隙率之间存在着良好的线性正相关关系, 且 TP 净化率受空隙率的影响最大。

3 不同道路材料净水特性研究

水泥和沥青是中国道路工程建设中常见的两种路面黏结材料。大量学者已经研究了这两种道路材料对环境的影响, 但尚无对雨水净化方面的对比研究。该文就配制的溶液分别对空隙率大致相当的透水混凝土试件和 OGFC 试件进行试验(图 2), 试验内容与上述相同。采用污染物去除率来评价透水混凝土的净水效果, 计算结果如表 3 所示。



(a) 水泥混凝土路面 (b) 沥青混凝土路面

图 2 降水试验后的道路表面

表 3 不同路面材料试件的净水效果

路面材料类别	各指标去除率/%			pH 值 (上升到)
	TSS	TOC	TP	
透水水泥混凝土面层(PC)	33	12	34	6.47
开级配排水式沥青磨耗层(OGFC)	27	10	13	4.03

由图 2 可见: 试验过后, 无论是透水水泥混凝土路面还是沥青混凝土路面都能清楚地看到表面空隙悬浮物的黏附与截留。由表 3 可知: 透水水泥混凝土和沥

青混凝土对径流雨水中的污染物均有一定的净化效果,但前者的去除效果优于后者;而 OGFC 沥青混合料对径流雨水中的 H^+ 无中和作用,不能提高雨水的 pH 值。

4 路面组合结构净水特性研究

分别对透水水泥基层和面层的单层结构以及组合结构进行试验。为确定组合结构净水效果与单层结构净水效果的关系,组合层净水效果试验的试件厚度定为 A(15 cm)+B(15 cm),其他试验内容与上述相同。通过测定净水试验前后溶液中各污染物含量,采用污染物去除率来评价路面净水效果。计算结果如表 4 所示。

表 4 路面单层和组合层试件的净水效果

路面结构类型	各指标去除率/%			pH 值 (上升到)
	TSS	TOC	TP	
透水水泥混凝土面层(A)	33	12	34	6.47
透水水泥稳定碎石基层(B)	33	14	54	7.84
道路路面组合结构层(A+B)	45	18	59	8.95

由表 4 可知:同透水水泥混凝土一样,透水水泥稳定碎石对径流雨水污染物也有一定的净化作用,对污染物去除率的大小为: $TP > TSS > TOC$;且能中和溶液中一定量的 H^+ ,提升溶液的 pH 值。透水水泥稳定碎石基层的 TSS 及 TOC 去除率同透水水泥混凝土面层大致一样,但对 TP 的净化效果却较面层提高了 59% 左右。

透水性路面结构组合层的净水效果较两种单层结构有一定幅度的提高,但并不是两者的简单相加。路面结构组合层能有效地提高溶液的 pH 值;且对 TP 的去除率要高于 TOC 和 TSS。

5 结论

以重庆市区径流雨水主要污染物含量的调查为依据,采用化学试剂按梯度试配,并通过内插的方式获得最佳试剂掺量,配制模拟试验溶液。通过模拟试验,分

析了空隙率、路面材料类型以及路面结构层组合形式对径流雨水各污染物的净化效果,得出以下结论:

(1) 透水水泥混凝土中的水泥在水化及降水试验过程中会释放出一定的 OH^- ,中和雨水中的 H^+ ,提高雨水的 pH 值。透水水泥混凝土面层对 TSS、TOC、TP 的净化率分别达到 24%~37%、6%~16%、9%~68%,且净化效果与设计空隙率存在良好的线性正相关关系。

(2) 因透水水泥混凝土和透水沥青混凝土内部存在大量的空隙可以过滤吸附污染物,故对径流雨水均存在一定的净化效果,且两者对各污染物去除率的大小均为: $TP > TSS > TOC$,但透水水泥路面具有更优的净化效果;因透水沥青混凝土路面不能中和径流雨水中的 H^+ ,故不能提升径流雨水的 pH 值。

(3) 透水水泥混凝土面层和透水水泥稳定碎石基层,两单层结构对径流雨水均有一定的净化效果;而透水路路面结构组合层的净化效果较两种单层结构有所提高,但不等于两者的简单相加。

参考文献:

- [1] Bradford M Berry. Properties of Pervious Concrete Incorporating Recycled Concrete Aggregate[D]. Burlington: The University of Vermont,2012:95-103.
- [2] IT Kim,C Park,S Kim,YH Cho .Evaluation of Field Applicability of Pervious Concrete Materials for Airport Pavement Cement Treated Drainage Base Course[J].Material Research Innovations,2015,19(S8):378-388.
- [3] 宋迁凤.重庆市某城区地表降雨径流污染特征研究[D].重庆大学硕士学位论文,2012.
- [4] 郝丽岭.重庆城市居民区不同下垫面降雨径流污染及其控制研究[D].西南大学硕士学位论文,2012.
- [5] 张千千,王效科,郝丽岭,等.重庆市路面降雨径流特征及污染源解析[J].环境科学,2012(1).
- [6] JAP Drake,A Bradford,J Marsalek .Review of Environmental Performance of Permeable Pavement Systems: State of the Knowledge[J].Water Quality Research Journal of Canada,2013,48(3).
- [7] 崔珍珍.透水路路面结构层雨水入渗与水质净化性能机理研究[D].天津大学硕士学位论文,2013.