

文章编号:1673-2049(2018)06-0118-09

聚丙烯纤维改性聚合物透水混凝土路面 路用性能试验

罗维刚^{1,2}, 钞鑫^{1,2}, 卢国文^{1,2}, 肖永站^{1,2}

(1. 兰州理工大学 西部土木工程防灾减灾教育部工程研究中心, 甘肃 兰州 730050;

2. 兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘要:为缓解聚合物透水混凝土路面硬化后脆性发展对路面的破坏,在已有经验和结论基础上研究聚丙烯纤维改性聚合物透水混凝土路面的路用性能。以无溶剂聚氨酯为胶黏剂,复掺聚丙烯纤维透水混凝土为道路面层,制作路段模型进行抗氯离子渗透、承载力、抗冲击和路面径流削减等一系列试验研究,并与普通透水混凝土对比分析。结果表明:普通透水混凝土与聚合物透水混凝土渗透系数分别为初始渗透系数的81%与92%,普通透水混凝土较聚合物透水混凝土易堵,主要由于聚合物乳液改善了新拌透水混凝土的工作性能,提高了混凝土的致密性;胶乳中含有大量活性物质,在混凝土水化、硬化过程中增加了胶乳与集料及水化产物的黏附性;聚丙烯纤维改性聚合物透水混凝土面层承载力较聚合物透水混凝土面层承载力提高了52%;随着聚丙烯纤维掺量的增加,抗冲击性能增强,在复掺聚丙烯纤维掺量(质量分数)为1.5%时,抗冲击性能提高245.9%;聚丙烯纤维改性聚合物透水混凝土路面雨量径流系数为0.11~0.29,较普通透水混凝土路面有更好的径流削减效果。

关键词:聚丙烯纤维;聚合物;透水混凝土;路段模型;路面性能

中图分类号: TU502

文献标志码: A

Experiment on Road Performance of Polypropylene Fiber Modified Polymer Pervious Concrete Pavement

LUO Wei-gang^{1,2}, CHAO Xin^{1,2}, LU Guo-wen^{1,2}, XIAO Yong-zhan^{1,2}

(1. Western Engineering Research Center of Disaster Mitigation in Civil Engineering of Ministry of Education,

Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, Gansu, China; 2. School of Civil Engineering,

Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, Gansu, China)

Abstract: In order to alleviate the brittleness development and pavement damage of polymer pervious concrete pavement after hardening, based on previous experience and conclusions, the road performance of polypropylene fiber modified polymer pervious concrete pavement was studied. The road section model was made by using solvent-free polyurethane as adhesive and polypropylene fiber pervious concrete as road surface layer. A series of tests on chloride ion permeability, bearing capacity, impact resistance and runoff reduction of pavement were carried out, and the results were compared with those of ordinary pervious concrete. The results show that the permeability coefficient of ordinary concrete and polymer pervious concrete is 81% and

收稿日期:2018-02-11

基金项目:甘肃省建设科技攻关项目(JK2014-34)

作者简介:罗维刚(1975-),男,甘肃景泰人,副教授,E-mail:luowg@lut.cn。

92% of the initial value respectively. The ordinary pervious concrete is easier to block than polymer pervious concrete, mainly because polymer emulsion improves the working performance of new pervious concrete and improves the compactness of concrete. There are a lot of active substances in latex, which increase the adhesion of latex to aggregate and hydration products during the hydration and hardening of concrete. The surface bearing capacity of polypropylene fiber modified polymer pervious concrete is 52% higher than that of polymer pervious concrete. With the increase of polypropylene fiber content, the impact resistance is enhanced. When adding polypropylene fiber is 1.5%, the impact resistance is increased by 245.9%. The rainfall runoff coefficient of polypropylene fiber modified polymer pervious concrete pavement is 0.11-0.29, which has better runoff reduction effect than ordinary pervious concrete pavement.

Key words: polypropylene fiber; polymer; pervious concrete; road section model; pavement performance

0 引言

2014 年 10 月国家住房和城乡建设部推出了《海绵城市建设技术指南》,表明中国将来城市规划工作的重点是以减少对自然的干扰和损害,节约土地、水、能源等资源为原则,以解决城市缺水问题,建设积存、渗透和净化的“海绵城市”为目的^[1]。透水混凝土路面可以改善城市道路路面的缺陷,能够有效收集雨水并渗入地下,保持水资源平衡,缓解城市地下水位急剧下降。

针对透水混凝土的独特之处,国内外学者从不同方面展开了研究。Rehder 等^[2]研究了孔隙结构和纤维对透水混凝土断裂的影响,结果表明断裂韧性主要取决于透水混凝土的孔隙率。Barnhouse 等^[3]通过加入再生骨料、沙子和二氧化钛(TiO₂)研究大孔透水混凝土的物理和水力传导性能,结果表明再生骨料的高吸收性和低密度不会影响透水混凝土的渗透性。Gesoglu 等^[4]研究了掺杂废弃橡胶对透水混凝土抗冻性能的影响,结果表明添加橡胶明显改善透水混凝土的抗冻性能,降低了透水混凝土的抗弯强度。林武星等^[5-7]通过模型试验,研究了刚性聚丙烯纤维对透水混凝土路面的耐久性、路用性能以及对土基层稳定性的影响,结果表明刚性聚丙烯纤维可有效提高透水混凝土的强度、耐久性和抗弯沉能力。张茂林等^[8]研究了聚丙烯纤维和橡胶颗粒对透水混凝土性能的影响,结果表明相比掺入橡胶颗粒,聚丙烯纤维更能提高透水混凝土的力学性能。刘肖凡等^[9]在透水混凝土中掺入聚合纤维研究了透水混凝土强度与抗裂性能。梅迎军等^[10]研究了聚丙烯纤维及聚合物乳液对水泥混凝土抗冲击性及耐磨性的影响。张巨松等^[11]以水泥和水性环

氧树脂作为胶凝材料对透水混凝土的强度和透水性进行了研究。

目前对透水混凝土路用性能的研究较少,透水混凝土在工程应用中既要有足够的强度,又要有良好的透水性。聚合物透水混凝土靠树脂聚合固化将骨料胶结^[12],较普通透水混凝土有更好的渗透性能,且骨料的多彩彩化使其具有更好的装饰效果。复掺聚丙烯纤维后可大大提高其强度、磨耗、抗冲击等性能,解决了硬化后脆性发展对路面的破坏问题,提高了透水混凝土路面的耐久性^[13]。本文以普通透水混凝土、聚合物透水混凝土与聚丙烯纤维改性聚合物透水混凝土为研究对象,制作了路段模型并探讨其强度、渗透性、抗冲击性等性能的差异,基于路面设计与本地降雨参数,分析了其对径流的削减效果,对“海绵城市”中透水混凝土路面的施工研究具有一定的指导意义。

1 试验研究

1.1 原材料

1.1.1 水泥

水泥采用庆阳祁连山 P. O42.5 普通硅酸盐水泥,水泥部分物理力学性能如表 1 所示。

表 1 水泥物理性能

Tab. 1 Physical Properties of Cement

密度/ (g · cm ⁻³)	比表面积/ (m ² · kg ⁻¹)	凝结时间/ min		抗弯强度/ MPa		抗压强度/ MPa	
		初凝	终凝	3 d	28 d	3 d	28 d
3.1	350	120	600	5.7	8.6	28.4	57.6

1.1.2 粗集料

选用本地附近产卵石,粗集料级配为 4.75~9.5 mm,卵石符合《建筑用卵石、碎石》(GB/T

14685—2011)质量要求,其压碎指标、坚固性指标、含泥量(质量分数)等技术指标皆符合Ⅰ级要求,如表2所示。

表2 粗骨料技术指标

Tab.2 Technical Indexes of Coarse Aggregates

参数	表观密度/ (kg·m ⁻³)	压碎性/%	坚固性/%	针片状颗粒含量/%	含泥量/%
标准值		<12	<5	<5	<0.5
试验值	2 736	6.32	3.44	2.25	0.31

1.1.3 无溶剂型聚氨酯胶黏剂

采用德国汉高公司研制的UF7508型无溶剂型聚氨酯胶黏剂,主剂与固化剂质量比为6:1,黏度为1 500 Pa·s(75℃),具有以下特点:初始黏结力强,黏度低,操作温度小于80℃。

1.1.4 聚丙烯纤维

纤维采用甘肃唯克隆工程建材有限公司生产的聚丙烯纤维,其原貌如图1所示,纤维技术指标见表3。



图1 聚丙烯纤维原貌

Fig.1 Original Appearance of Polypropylene Fiber

表3 聚丙烯纤维技术指标

Tab.3 Technical Indexes of Polypropylene Fiber

纤维类型	抗拉强度/MPa	断裂延伸率/%	直径/ μm	长度/ mm	弹性模量/MPa	密度/ (g·cm ⁻³)
单丝	1 488	10	30	16	3 952	1.4

1.2 配合比设计

由于目前透水混凝土的研究还并不完善,一般建议采用质量法^[14],抗压强度要求仅为20 MPa,根据填充原理,粗集料用量为1 300~1 500 kg,粒径为4.75~9.50 mm,胶凝材料用量为345 kg,水胶比为0.28~0.32,对于聚丙烯纤维改性聚合物透水混凝土,取聚合物掺量(质量分数)为胶凝材料的4%,8%,12%,复掺聚丙烯纤维掺量为0.5%,1.0%,1.5%。该方法容易控制各材料用量,在工程中容易实现。本文设计了普通透水混凝土、聚合物

透水混凝土、聚丙烯纤维改性聚合物透水混凝土3种路面,配合比如表4所示。

1.3 路段模型设计与制作

选取模型尺寸为1.6 m×1.2 m×0.43 m,模板四周用木板封闭,在侧壁从低往高标记刻度130,150,150 mm,并按照这个高度进行透水混凝土路段模型隔层的制作,如图2所示。透水混凝土路段模型设计制作包括土基层、碎石基层、面层,各层在受荷载及其他因素影响时发挥的作用不同,路基用土取自兰州城关区某施工场地,加入少量水使其含水量为17%~22%,搅拌并振动压实,厚度为130 mm。基层级配为2.35~4.75 mm,4.75~9.5 mm,9.5~13.5 mm,筛余百分率比值为1:2:5。将该级配碎石沿长度方向均匀铺于路基上,厚度为150 mm,根据表4配合比制作路段面层,将搅拌好的透水混凝土均匀摊铺于碎石基层上,厚度为150 mm,人工进行振捣并整平。3种透水混凝土路面依据试验要求分为2组,一组在养护后不再加水,确保其在自然条件下风干干燥,另一组在养护后采用人工降雨系统模拟降雨条件下的路段蓄水排水能力,其面层超过持水能力而溢出时停止。

1.4 试验方法

1.4.1 路面快速堵塞试验

透水混凝土路面堵塞直观表现为渗透系数的降低,现有的渗透性评价方法中,试件侧壁渗透问题是影响渗透系数测量不严格的主要原因之一。与钻芯取样相比,实验室中试模表面比较粗糙,加之透水混凝土粗骨料为刚性材料,在试模中成型后会在侧壁形成大量的开口孔隙,在渗透试验时,水更容易从开口孔隙与侧壁形成的开放通道中流出,改变渗透路径,与工程实际相差较大。鉴于此,对透水装置进行了一定的改进^[15-18],使用防水涂料(凡士林)-柔性橡胶垫-透水装置组成的复合透水系数测试仪,如图3所示。为实时记录堵塞过程中渗透系数的变化,在试验装置中安装2个电子水压力传感器和1个超声波流速传感器,通过模数转换器连接计算机。由水压力传感器可测得试件上、下表面的水头损失,由超声波流速传感器可测得出水管内水的流速。

由达西定律计算渗透系数,即

$$k=\frac{v_1}{i}=\frac{A_{ou}L}{A_{ef}\Delta h}v_2 \tag{1}$$

式中: k 为渗透系数; v_1 为试件内水的平均流速; i 为水头梯度; v_2 为出水管内水的流速; Δh 为水头损失; A_{ef} 为试件有效截面面积,计算参见文献[16];

表 4 不同类型透水混凝土面层的配合比

Tab. 4 Mix Ratios of Different Types of Pervious Concrete Surface

混凝土类型	编号	骨料粒径/mm	材料用量/kg				聚丙烯纤维掺量/%	骨胶比
			粗集料	水泥	水	聚氨酯胶黏剂		
普通透水混凝土	1	4.75~9.50	1 480	345.0	103.5	0.0	0.0	4.29
聚合物透水混凝土	2			301.0		41.4	0.0	
	3			317.4		27.6	0.0	
	4			331.2		13.8	0.0	
	5			301.0		41.4	0.5	
聚丙烯纤维改性聚合物透水混凝土	6			317.4		27.6	0.5	
	7			331.2		13.8	0.5	
	8			345.0		0.0	0.5	
	9			301.0		41.4	1.0	
	10			317.4		27.6	1.0	
	11			331.2		13.8	1.0	
	12			345.0		0.0	1.0	
	13			301.0		41.4	1.5	
	14			317.4		27.6	1.5	
	15			331.2		13.8	1.5	
	16			345.0		0.0	1.5	

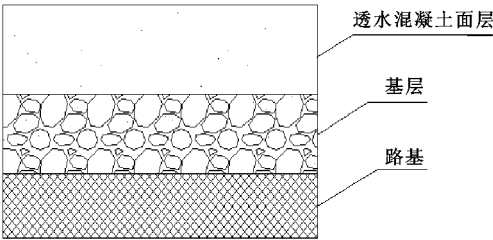


图 2 透水混凝土路面结构

Fig. 2 Pervious Concrete Pavement Structure

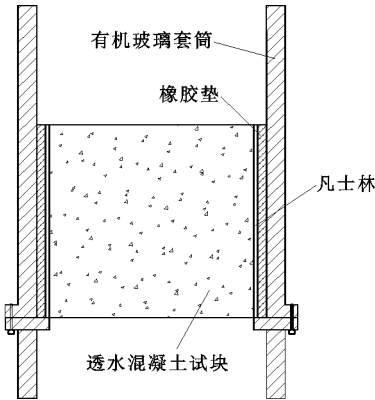


图 3 透水系数测试仪

Fig. 3 Permeability Coefficient Test Instrument

A_{ou} 为出水管的内截面面积; L 为试件长度。

快速堵塞试验中,本文将筛选后的河砂作为堵塞材料,取砂率为 6%,粒径范围为 0.15~2.36 mm,所用砂的级配如表 5 所示。

1.4.2 路面承载力测定

依据《公路路基路面现场教程》的加载方式,加

表 5 堵塞材料河砂级配

Tab. 5 Sand Gradation of Clogged Material

粒径范围/mm	质量分数/%
1.18~2.36	31.6
0.60~1.18	37.9
0.30~0.60	24.8
0.15~0.30	5.5

载装置立面如图 4 所示。取和车轮与路面接触面积大小的铁片作为接触面,铁片与反力架之间放置千斤顶达到加载的目的,接触面荷载以均布荷载分布,试验直径为 50 cm,上面辅以型钢支座作为过渡缓冲,其上放置千斤顶与压力传感器。初始荷载等级为 4.5 kN·min⁻¹,每级加载用时 2 min,当面层位移发生较大变化或者不稳定时,荷载等级变为 2.8 kN·min⁻¹,反复加载,连续加载至位移达到最大值,当面层出现贯穿裂缝时停止加载,进行记录。

1.4.3 路面抗冲击试验

目前中国关于抗冲击性能测试没有一致的规定,相关规范^[19-20]也没有统一的试验方法。本次试验采用 ACI 建议的自制自由落锤方法,如图 5 所示。试件(尺寸为 300 mm×150 mm×150 mm)底部涂抹 1 层黄油以减缓装置的横向约束作用,质量为 4.54 kg 的重锤从落距为 457 mm 的高空自由落体而下冲击试件,冲击产生的能量传递给试件,连续冲击作用下,当试件表面出现第 1 条裂缝时,记录初裂冲击次数为 N_1 。接着上述步骤继续冲击试件,试件表面裂缝不断扩大,体积膨胀,当试件表面出现贯

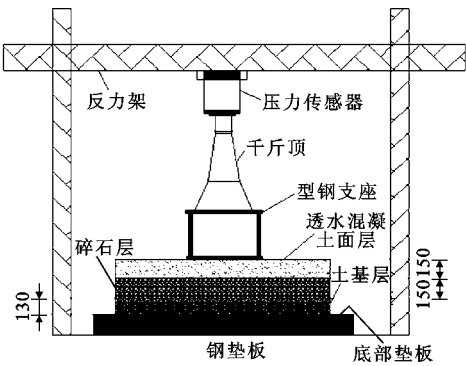


图 4 加载装置立面(单位:mm)

Fig. 4 Elevation of Loading Device (Unit:mm)

穿裂缝时,标志着试件破坏,记录总裂冲击次数为 N_2 。ACI 推荐的冲击功计算公式为

$$W=Nmgh \tag{2}$$

式中: W 为冲击功; N 为冲击次数; h 为落距; m 为

表 6 不同类型透水混凝土路面径流量及径流系数

Tab. 6 Runoff and Runoff Coefficients of Different Types of Pervious Concrete Pavements

混凝土类型	编号	降雨历时/min	降雨量/mm	径流量/mm	重现期/年	径流系数
普通透水混凝土	1	30	74	28.35	100	0.38
	2	30	63	19.65	50	0.32
	3	30	54	14.39	20	0.26
	4	60	92	38.33	100	0.42
	5	60	82	29.13	50	0.35
	6	60	73	19.81	20	0.28
	7	90	114	55.42	100	0.48
	8	90	101	39.22	50	0.39
	9	90	88	26.85	20	0.31
聚合物透水混凝土	10	30	76	25.08	100	0.33
	11	30	61	12.81	50	0.21
	12	30	52	6.24	20	0.12
	13	60	88	24.78	100	0.28
	14	60	79	18.12	50	0.23
	15	60	71	12.07	20	0.17
	16	90	114	35.02	100	0.31
	17	90	102	26.84	50	0.29
	18	90	93	21.39	20	0.23
聚丙烯纤维改性聚合物透水混凝土	19	30	76	18.24	100	0.24
	20	30	62	11.22	50	0.17
	21	30	53	6.01	20	0.11
	22	60	91	24.21	100	0.26
	23	60	84	18.48	50	0.22
	24	60	71	9.26	20	0.13
	25	90	122	35.32	100	0.29
	26	90	106	25.41	50	0.24
	27	90	93	16.83	20	0.18

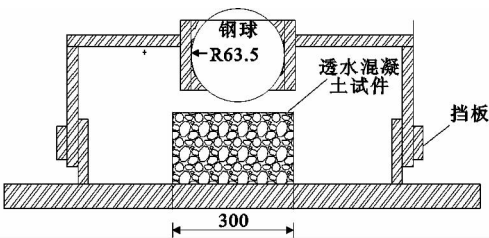


图 5 抗冲击试验装置(单位:mm)

Fig. 5 Anti-impact Test Device (Unit:mm)

重锤质量; g 为重力加速度。

1.4.4 路面径流削减试验

本试验使用人工模拟降雨系统和路段模型装置,进行3种不同类型透水混凝土路面径流削减试验,根据降雨历时与重现期设计了表6所示的试验,测试路面的径流量,通过计算径流系数来观测不同类型透水混凝土路面对径流的削减作用。

2 试验结果及分析

2.1 路面快速堵塞试验结果分析

取投砂前试件渗透系数的平均值为初始渗透系数,将堵塞过程中计算渗透系数与初始渗透系数的比值作为归一化渗透系数。

2.1.1 普通透水混凝土路面堵塞过程分析

取配合比编号 1 的普通透水混凝土路面试件分析透水混凝土路面的堵塞过程。普通透水混凝土路面渗透系数随时间的变化趋势如图 6 所示。由图 6 可以看出:初始阶段普通透水混凝土的归一化渗透系数波动不大,细砂缓慢进入试件内部;快速堵塞阶段渗透系数迅速降低,大量连通孔隙被细砂填充;一定时间后,细砂开始从试件底部流走,此时堵塞缓慢恢复;当细砂几乎不从底部流出时,渗透系数变化趋于稳定。

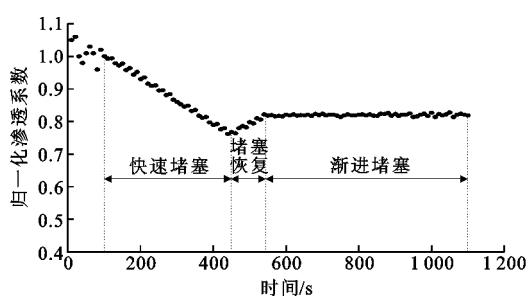


图 6 普通透水混凝土路面堵塞过程中渗透系数变化

Fig. 6 Permeability Coefficient Changes During Clogging Process of Pervious Concrete Pavement

2.1.2 不同类型透水混凝土对堵塞的影响

为研究不同类型透水混凝土的堵塞效应,选取普通透水混凝土、聚合物掺量为 4%,8%,12% 的聚合物透水混凝土,以及聚丙烯纤维掺量为 1.5%、聚合物掺量为 12% 的混凝土进行透水试验,归一化渗透系数随时间的变化如图 7 所示。

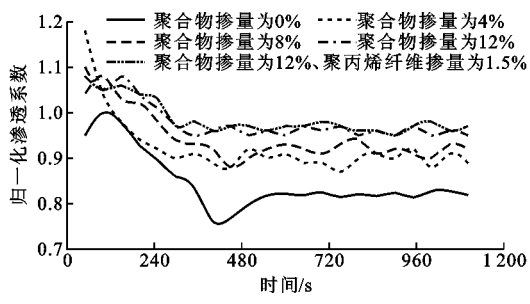


图 7 归一化渗透系数随时间的变化

Fig. 7 Changes of Normalized Permeability Coefficient with Time

由图 7 可以看出,对于普通透水混凝土与聚合

物透水混凝土,渗透系数分别为初始渗透系数的 81%与 92%。普通透水混凝土较聚合物透水混凝土易堵,主要由于聚合物乳液改善了新拌透水混凝土的工作性能,提高了混凝土的致密性。同时,胶乳中含有大量活性物质,在混凝土水化、硬化过程中增加了胶乳与集料及水化产物的黏附性。胶乳失水后形成的聚合物薄膜紧密吸附在集料表面,填塞在集料-水泥石界面,形成了集料-聚合物薄膜-水泥石的空间网状结构。孔隙尺寸和渗流速度较小,减小了细砂进入孔隙通道堵塞较细部位的可能性,复掺聚丙烯纤维较单掺聚合物透水混凝土路面不易堵塞,但效果不明显,究其原因因为乱向分布的纤维增强了空间网状作用,使得细砂更不易进入孔隙通道。因此,聚合物透水混凝土路面的投入使用成为一种趋势。

2.2 路面承载力分析

压力传感器将传递的信号转化为应变,文献 [14]通过整理多组数据拟合得到压力 P 与应变 ϵ 的线性方程为 $P = -1.0426\epsilon + 0.05169$ 。本文通过测试压力传感器的应变,计算不同类型透水混凝土路面的承载力。对普通透水混凝土按加载制度加载,荷载增加至 54 kN 时,路段出现声响,观测面层无明显裂缝,继续加载至 63 kN 时,传感器读数出现跳跃式变化,面层中心处出现贯穿裂缝,标志着路段破坏。相同加载制度下,聚合物透水混凝土加载至 48 kN 时,路段侧面板出现声响,继续加载至 53 kN 时,传感器读数呈跳跃式降低,路段破坏。对于聚丙烯纤维改性聚合物透水混凝土路段,按照加载制度先加载至 88 kN 时,侧面板出现开裂声响,面层表面无明显裂缝,继续加载至 96 kN 时,荷载值出现跳跃式降低,路段方向中心处出现贯穿裂缝,标志着路段破坏。

通过比较发现,普通透水混凝土承载力较聚合物透水混凝土高,主要由于两者胶结材料和胶结作用原理不同。聚合物透水混凝土是以树脂胶黏剂为胶结材料,对基料的包裹层较薄,胶黏剂固化后基料间胶结面积小。聚丙烯纤维改性聚合物透水混凝土的承载力较聚合物透水混凝土提高了 52%,在加载过程中,聚丙烯纤维-聚合物-基料-水泥形成空间网状共同受力,抑制了路面板的拉弯变形,提高了路面的承载性能,弥补了聚合物透水混凝土路面透水性好而承载力差的劣势。

2.3 不同类型透水混凝土抗冲击性能分析

由于计算结果具有较大的离散性,为保证数据

的可靠性,本文采用格拉布拉斯统计法进行数据处理^[21],表 7 为试验条件下冲击功的测试结果。图 8 为透水混凝土抗冲击功与聚丙烯纤维掺量的关系。图 9 为透水混凝土抗冲击功与聚合物掺量的关系。

表 7 不同类型透水混凝土冲击功及提高率

Tab. 7 Impact Power and Increase Rate of Different Types of Pervious Concrete

编号	冲击次数						冲击功/ (N·m)	抗冲击性能 提高率/%
	试验 1		试验 2		试验 3			
	初裂	终裂	初裂	终裂	初裂	终裂		
1	33	33	37	37	31	31	674	
2	57	73	52	68	58	76	779	15.6
3	62	78	66	81	63	77	833	23.6
4	67	83	69	84	71	85	944	40.1
5	81	93	78	89	79	91	1 261	87.1
6	84	97	81	94	82	98	1 355	101.0
7	88	102	86	101	19	103	1 549	129.8
8	92	107	95	112	93	109	1 804	167.7
9	99	113	102	116	104	117	1 543	128.9
10	103	118	105	119	108	125	1 633	142.3
11	107	121	106	122	109	127	1 823	170.5
12	112	128	117	127	114	126	2 043	203.1
13	110	127	114	129	111	125	1 632	142.1
14	124	141	127	147	123	142	1 792	165.9
15	134	153	136	155	137	158	2 067	206.7
16	142	161	144	165	141	162	2 238	232.0

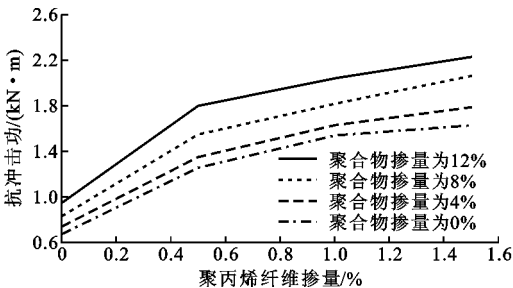


图 8 透水混凝土抗冲击功与聚丙烯纤维掺量的关系
Fig. 8 Relationship Between Impact Resistance Energy and Polypropylene Fiber Content in Pervious Concrete

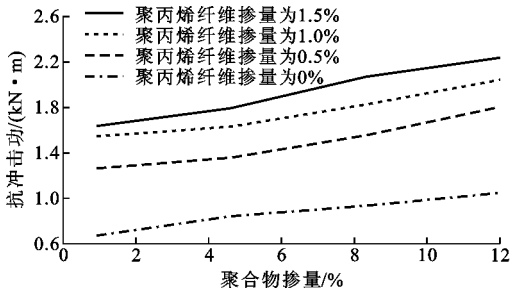


图 9 透水混凝土抗冲击功与聚合物掺量的关系
Fig. 9 Relationship Between Impact Resistance Energy and Polymer Dosage in Pervious Concrete

由表 7 可知,普通透水混凝土的初裂冲击次数与终裂冲击次数相同且较小,表明普通透水混凝土在冲击荷载作用下呈脆性破坏。聚合物透水混凝土在冲击荷载作用下冲击性能有所增强,较普通透水混凝土提高了 15.6%~40%,主要由于加入聚合物后形成乳胶-集料-水泥空间网状结构,加强了混凝土的内部结构性,进而提高了透水混凝土的抗冲击性能。

掺入聚丙烯纤维的聚合物透水混凝土可以显著增强其抗冲击性能。由表 7 及图 9 还可以看出:聚丙烯纤维掺量为 0.5% 时,抗冲击性能大致提高了 101%,且随着纤维掺量的增加,混凝土吸收的冲击功越大,抗冲击性能越好;当聚丙烯纤维掺量为 1.5% 时,抗冲击性能提高了 245.9%,较聚合物透水混凝土有更好的抗冲击性。主要由于聚丙烯纤维的混乱分布,与混凝土内部结构一起承担冲击荷载作用,阻止了混凝土碎块从基体中脱落,使得混凝土表现出较好的韧性,进一步提高了透水混凝土的抗冲击性能。

2.4 不同类型透水混凝土路面径流量的分析

图 10 为不同降雨历时与重现期下 3 种透水混凝土路面的径流系数变化。对聚丙烯纤维改性聚合物透水混凝土路面分析可知,降雨历时为 30 min,重现期由 20 年到 100 年时径流系数由 0.11 增至 0.24,表明降雨频率增大时,径流系数减小,透水混凝土路面对径流的削减作用越明显。通过对比发现,普通透水混凝土路面雨量径流系数为 0.26~0.48,相同的重现期与降雨历时下,聚合物透水混凝土与聚丙烯纤维改性聚合物透水混凝土径流系数相差不大,但较普通透水混凝土路面径流系数要小,径流系数为 0.11~0.29。

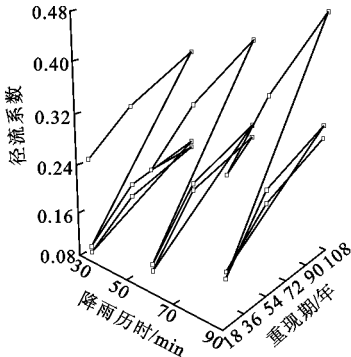


图 10 透水混凝土径流系数与降雨历时和重现期的关系
Fig. 10 Relationships Between Runoff Coefficient of Pervious Concrete and Rainfall Duration, Recurrence Period

综合分析可知,对于重现期小、降雨历时较短的多雨地区,聚丙烯纤维改性聚合物透水混凝土路面较普通透水混凝土路面有较好的径流削减效果。

3 结 语

(1)普通透水混凝土与聚合物透水混凝土渗透系数分别为初始渗透系数的81%与92%。普通透水混凝土较聚合物透水混凝土易堵,主要由于聚合物乳液改善了新拌透水混凝土的工作性能,提高了混凝土的致密性。同时,胶乳中含有大量活性物质,在混凝土水化、硬化过程中增加了胶乳与集料及水化产物的黏附性。

(2)通过比较发现,普通透水混凝土承载力较聚合物透水混凝土高,聚合物透水混凝土中掺入聚丙烯纤维后承载力提高了52%,弥补了聚合物透水混凝土路面透水性好而承载力差的劣势。

(3)普通透水混凝土面层的初裂冲击次数等于终裂冲击次数,呈脆性破坏,随着聚合物掺量的增加,透水混凝土路面抗冲击性能增强,聚氨酯胶黏剂掺量为4%~12%时,抗冲击性能较普通透水混凝土提高了15.6%~40%。复掺聚丙烯纤维掺量为1.5%时,抗冲击性能提高了245.90%。聚丙烯纤维-聚合物-基料-水泥形成的空间网状结构是增强其抗冲击性的根本。

(4)普通混凝土路面径流系数为0.26~0.48,重现期与降雨历时相同时,聚合物透水混凝土与聚丙烯纤维改性聚合物透水混凝土径流系数相差不大,但较普通透水混凝土径流系数要小,路面径流系数为0.11~0.29。综合分析可知,对于重现期小、降雨历时较短的多雨地区,聚丙烯纤维改性聚合物透水混凝土路面较普通透水混凝土路面有更好的径流削减效果。

参考文献:

References:

- [1] 于永霞. 透水混凝土在海绵城市建设中的应用研究[D]. 淮南:安徽理工大学,2016.
YU Yong-xia. Application of Porous Concrete Sponge City Construction[D]. Huainan: Anhui University of Science & Technology, 2016.
- [2] REHDER B, BANH K, NEITHALATH N. Fracture Behavior of Pervious Concretes: The Effects of Pore Structure and Fibers[J]. Engineering Fracture Mechanics, 2014, 118: 1-16.
- [3] BARNHOUSE P W, SRUBAR III W V. Material

Characterization and Hydraulic Conductivity Modeling of Macroporous Recycled-aggregate Pervious Concrete[J]. Construction and Building Materials, 2016, 110: 89-97.

- [4] GESOGLU M, GUNEYISI E, KHOSHNAW G, et al. Abrasion and Freezing-thawing Resistance of Pervious Concretes Containing Waste Rubbers[J]. Construction and Building Materials, 2014, 73: 19-24.
- [5] 林武星. 刚性聚丙烯纤维改性透水混凝土路用性能研究[D]. 武汉:武汉轻工大学, 2016.
LIN Wu-xing. Experimental Research on Pavement of Permeable Concrete with Rigid Polypropylene Fiber [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2016.
- [6] 刘肖凡, 林武星, 李继祥. 刚性聚丙烯纤维改性透水混凝土路面的模型试验[J]. 土木工程与管理学报, 2017, 34(2): 33-36, 40.
LIU Xiao-fan, LIN Wu-xing, LI Ji-xiang. Experiments on Pavement Model of Permeable Concrete with Rigid Polypropylene Fiber[J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2017, 34(2): 33-36, 40.
- [7] 刘肖凡, 林武星, 李继祥. 刚性聚丙烯纤维改性透水混凝土耐久性能研究[J]. 混凝土, 2017(1): 133-136.
LIU Xiao-fan, LIN Wu-xing, LI Ji-xiang. Durability Performance Research on Permeable Concrete with Rigid Polypropylene Fiber[J]. Concrete, 2017(1): 133-136.
- [8] 张茂林, 杜红秀. 聚丙烯纤维及橡胶颗粒对透水混凝土性能的影响[J]. 硅酸盐通报, 2018, 37(4): 1303-1308.
ZHANG Mao-lin, DU Hong-xiu. Effects of Polypropylene Fiber and Rubber Crumbs on Performance of Pervious Concrete[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2018, 37(4): 1303-1308.
- [9] 刘肖凡, 李继祥. 刚性纤维增强透水混凝土配合比的试验研究[J]. 河北工业大学学报, 2015, 44(6): 104-107.
LIU Xiao-fan, LI Ji-xiang. Experimental Research on Mix Proportion for Permeable Concrete with Rigid Polymeric Fibers[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2015, 44(6): 104-107.
- [10] 梅迎军, 张 昶, 徐建平, 等. 钢纤维和聚合物乳液对水泥混凝土抗冲击与磨耗性能影响及机理分析[J]. 混凝土与水泥制品, 2014(1): 59-62.
MEI Ying-jun, ZHANG Chang, XU Jian-ping, et al. Effect of Polypropylene Fiber and Polymer Emulsion on Impact and Abrasion Performance of Cement Concrete and Its Mechanism Analysis[J]. China Concrete and Cement Products, 2014(1): 59-62.

- [11] 张巨松,王 华. 有机改性水泥基透水混凝土的性能研究[J]. 沈阳建筑大学学报:自然科学版,2018,34(3):489-497.
ZHANG Ju-song, WANG Hua. Study on Performance of Organic Modified Cement Pervious Concrete[J]. Journal of Shenyang Jianzhu University: Natural Science, 2018, 34(3): 489-497.
- [12] 宋中南,石云兴. 透水混凝土及其应用技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.
SONG Zhong-nan, SHI Yun-xing. Pervious Concrete and Its Application Technology[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2011.
- [13] 王 婷. 刚性聚合纤维透水混凝土性能试验研究[D]. 武汉:武汉轻工大学,2013.
WANG Ting. Experimental Research of Pervious Concrete Mixed with Rigid Polymeric Fibers[D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2013.
- [14] 白晓辉. 粉煤灰透水混凝土改性试验及路用性能研究[D]. 武汉:武汉轻工大学,2015.
BAI Xiao-hui. Test on Modification by Fly Ash and Study on Road Performance of Pervious Concrete [D]. Wuhan: Wuhan Polytechnic University, 2015.
- [15] 杨志峰. 多孔混凝土透水基层材料组成设计与性能研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2008.
YANG Zhi-feng. Material Composition Design and Performance Study of Porous Concrete Permeable Base Course[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2008.
- [16] CUI X Z, ZHANG J, ZHANG N, et al. Improvement of Permeability Measurement Precision of Pervious Concrete[J]. Journal of Testing and Evaluation, 2015, 43(4): 812-819.
- [17] 崔新壮,张 炯,黄 丹,等. 暴雨作用下透水混凝土路面快速堵塞试验模拟[J]. 中国公路学报,2016,29(10):1-11.
CUI Xin-zhuang, ZHANG Jiong, HUANG Dan, et al. Experimental Simulation of Rapid Clogging of Pervious Concrete Pavement Under Effects of Rainstorm [J]. China Journal of Highway and Transport, 2016, 29(10): 1-11.
- [18] 张 娜. 透水混凝土堵塞机理试验研究[D]. 济南:山东大学,2014.
ZHANG Na. Experimental Study on Clogging Mechanism of Pervious Concrete[D]. Jinan: Shandong University, 2014.
- [19] SL 352—2006, 水工混凝土试验规程[S].
SL 352—2006, Test Code for Hydraulic Concrete[S].
- [20] JTG E30—2005, 公路工程水泥及水泥混凝土试验规程[S].
JTG E30—2005, Test Methods of Cement and Concrete for Highway Engineering[S].
- [21] 杨成忠,刘新荣,李 虹,等. 掺加聚丙烯纤维对路面混凝土抗冲击韧性的影响[J]. 重庆建筑大学学报, 2008, 30(6): 42-45.
YNAG Cheng-zhong, LIU Xin-rong, LI Hong, et al. Adding Polypropylene Fiber to Pavement Concrete and Its Influence on Shock Resistance Toughness[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2008, 30(6): 42-45.