

# 橡胶混凝土抗冲磨性能的研究

谢李<sup>1,2</sup>, 娄宗科<sup>1</sup>

(1. 西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:** 探讨了橡胶混凝土在不同水灰比、胶粒掺量、粒径大小的情况下的抗冲磨性能, 为进一步改善混凝土的韧性和耐久性提供借鉴。在以往橡胶混凝土研究基础上, 采用水下钢球法对混凝土进行抗冲磨强度试验, 得出了橡胶混凝土在不同水灰比、胶粒掺量、粒径大小的情况下的抗冲磨性能。从本次试验中可以看出水灰比与橡胶混凝土的抗冲磨强度具有良好关系, 水灰比小时, 有利于提高混凝土的耐磨性, 但是水灰比不能无限制的降低, 必须能够提供凝胶材料完全水化所需的水分及保证施工过程中的和易性; 随着橡胶颗粒掺量的增加, 混凝土的耐磨性先提高后降低。橡胶掺量 15% 时混凝土的抗冲磨强度最高。当掺量达到 30% 时, 抗冲磨强度反而比未掺入时低; 掺入的三种粒径中掺入粒径为 (2.36 ~ 4.75 mm) 的混凝土耐磨性能最佳, 其单位磨损量最小。胶粒掺量是影响抗冲磨性能的主要因素, 其次为水灰比, 第三是胶粒粒径的大小。

**关键词:** 橡胶颗粒; 正交试验; 极差法; 方差法; 抗冲磨强度

中图分类号: TV43 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2014)02-0188-04

## Research on property of abrasion resistance of rubber-filled concrete

XIE Li<sup>1,2</sup>, LOU Zongke<sup>1</sup>

(1. College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;  
2. Yangling Vocational and Technical College, Yangling 712100, China)

**Abstract:** The thesis explored the abrasion resistance of rubber-filled concrete in different situations such as water to cement ratio (W/C Ratio), particles dosage, particles size in order to offer reference for improving the toughness and durability of concrete. Based on the previous study, the thesis adopted underwater method to test the abrasion resistance of concrete and got the property of abrasion resistance of rubber-filled concrete in the case of different water-cement ratios, particles dosages, particle sizes. The experiment shows that the relationship between water to cement ratio and abrasion resistance of rubber-filled concrete is close. Less W/C ratio contributes to the abrasion resistance of rubber-filled concrete, but the ratio cannot cut down unlimited and must provide the required moisture of gelled material and ensure the workability in the process of construction; with the increase of mixing amount of rubber particles, the abrasion resistance of concrete first enhances and then reduces. When the mixing amount of rubber particles increases to 15%, the strength of abrasion resistance of concrete reaches the highest. while the dosage gets to 30%, the abrasion resistance of concrete is lower than that without mixing; Among three particles dosages, the one added with the particles of diameter (2.36 ~ 4.75mm) has the best resistance of concrete, and their unit amount of wear intensity is the lowest. The mixing amount of rubber particles is the main factor that affect abrasion resistance of rubber-filled concrete, followed by W/C ratio and particle size.

**Key words:** rubber particle; orthogonal test; range method; variance method; abrasion resistance

我国经济处于迅猛发展阶段, 相应的汽车行业也得到了很好的发展, 随着汽车的普及, 废旧橡胶的处理问题显得尤为重要。橡胶混凝土是将废旧橡胶颗粒 (粉末) 掺入混凝土中, 是一种新型混凝土。经

比对后发现生产橡胶粉工艺更加简单方便, 更有利于环境保护, 并且是日后废旧橡胶发展的方向<sup>[1]</sup>。

我国的水利水电工程, 随着坝高、流速、水头、库容、发电量等逐渐增高而发生的冲磨、空蚀破坏事例

收稿日期: 2014-01-20; 修回日期: 2014-03-19

作者简介: 谢李 (1982-), 男, 四川简阳人, 在读研究生, 讲师, 主要从事道路桥梁施工方面的教学和研究。

通讯作者: 娄宗科 (1962-), 男, 陕西凤翔人, 教授, 硕士生导师, 主要从事水工结构、材料方面的教学与研究。

不断增多,如何获得力学性能稳定,具有较高的抗冲磨强度和较好的冲击韧性的抗冲磨混凝土,是我国水工混凝土材料研究领域亟待解决的重要课题<sup>[2]</sup>。

本文中主要以橡胶粒等体积代替砂子的情况。采用橡胶颗粒等体积代替砂的方法,通过混凝土表面受水下高速流动介质磨损的相对抗力,用于评价混凝土表面的相对抗磨性能(水下钢球法)。掺入橡胶的混凝土虽然在强度上较普通混凝土有明显降低,但单韧性、抗冲击性、变形能力却得到了相应的提升。所以橡胶混凝土的研究就能解决环保问题同时也对材料的发展起到重要作用。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

(1)橡胶颗粒。橡胶颗粒由废旧轮胎制成,本次试验选取 3 种粒径级配:0.6~1.18、1.18~2.36、2.36~4.75 mm。

(2)水泥。盾石牌水泥强度为 42.5 MPa 的普通硅酸盐水泥,密度为 3.1 g/cm<sup>3</sup>。

(3)砂。细度模数为 2.78 的渭河中砂,表观密度约为 2.629 g/cm<sup>3</sup>。

(4)粗骨料。最大粒径为 40 mm 的鹅卵石,取 5~40 mm 连续级配视密度为 2.653 g/cm<sup>3</sup>。

### 1.2 试验设计

在混凝土原材料不变的条件下,随着混凝土水灰比(或水胶比)的减小,混凝土密实性提高,其抗压强度、抗渗、抗冻等耐久性有规律的增大。一般情况下,混凝土抗冲磨强度也随水灰比的减小而增大<sup>[3]</sup>。

试验采取正交实验法,本次试验选取三因素、三水平。水灰比的选择是根据实际工程常用水灰比<sup>[4]</sup>进行选择配比的,即最终确定:0.4、0.5 和 0.6 三种水灰比。胶粒粒径级配和掺量是根据杨卫坤<sup>[5]</sup>等人对橡胶混凝土拌合物性能试验研究选择的,最终确定胶粒级配为:0.6~1.18, 1.18~2.36, 2.36~4.75 mm,胶粒掺量定为:0%、15% 和 30%。采用等体积代砂的方法,每个配合比成型抗冲磨试件 1 个(由于模具及试验时间所限),对比各组数据来评价不同橡胶粉掺量对混凝土抗冲磨性能的影响。

利用因素水平表(表 1)和正交表(表 2)来安排与分析多因素,挑选部分有代表性的水平组合进行试验。通过对试验结果的分析找出最优的水平组合。

表 1 因素水平表

因素水平表			% , mm
水灰比(因素 A)	胶粒掺量(因素 B)	胶粒粒径(因素 C)	
0.4	0	0.6~1.18	
0.5	15	1.18~2.36	
0.6	30	2.36~4.75	

注:胶粒等体积取代砂量

表 2 正交试验表

正交试验表				% , mm
编号	水灰比 (因素 A)	胶粒掺量 (因素 B)	胶粒粒径 (因素 C)	
①	1(0.4)	1(0)	1(0.6~1.18)	
②	1(0.4)	2(15)	2(1.18~2.36)	
③	1(0.4)	3(30)	3(2.36~4.75)	
④	2(0.5)	1(0)	2(1.18~2.36)	
⑤	2(0.5)	2(15)	3(2.36~4.75)	
⑥	2(0.5)	3(30)	1(0.6~1.18)	
⑦	3(0.6)	1(0)	3(2.36~4.75)	
⑧	3(0.6)	2(15)	1(0.6~1.18)	
⑨	3(0.6)	3(30)	2(1.18~2.36)	

### 1.3 配合比设计

根据《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55-2000),计算出初步配合比,试拌调整,得出基准配合比。由研究资料<sup>[6-13]</sup>可知,橡胶颗粒的加入会使混凝土的塌落度显著降低,因此在配制过程中,不断试拌调整,以满足塑性混凝土的塌落度要求。最终确定试验基准配合比见表 3,通过该表所列数据即可进行混凝土拌制。

### 1.4 试验方法

该试验步骤及相关规定参照试验规程 DL/T 5150-2001 执行。

混凝土抗冲磨指标以抗冲磨强度表示。抗冲磨强度按公式计算:

$$f_a = \frac{TA}{\Delta M}$$

式中:  $f_a$  为抗冲磨强度,即单位面积上被磨损单位质量所需的时间, h/(kg·m<sup>2</sup>);  $T$  为试验累计时间, h;  $A$  为试件受冲磨面积, m<sup>2</sup>;  $\Delta M$  为经  $T$  时段冲磨后,试件损失的累计质量, kg。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 冲磨试验结束测得数据

从表 4 中数据可以初步看出水灰比增大抗冲磨强度减小,而胶粒掺量增加抗冲磨强度先增大后减小。

### 2.2 极差分析

极差分析法是正交试验结果分析最常用的方法。极差就是平均效果中最大值和最小值的差。有

了极差就可以找到影响指标的主要因素,并可以帮助确定最佳因素水平组合。表5对各因素各水平下

橡胶混凝土抗冲磨强度的总和,抗冲磨强度的平均值及抗冲磨强度平均值的极差进行了分析计算。

表3 基准配合比

%, mm, kg/m<sup>3</sup>

编号	水灰比 (因素 A)	胶粒掺量 (因素 B)	胶粒粒径 (因素 C)	用水量	水泥	石子	砂子	胶粒
①	0.4	0	0.6~1.18	165	413	1325	541	0
②	0.4	15	1.18~2.36	175	437	1309	369	65
③	0.4	30	2.36~4.75	175	437	1309	203	131
④	0.5	0	1.18~2.36	150	300	1374	589	0
⑤	0.5	15	2.36~4.75	150	300	1374	475	45
⑥	0.5	30	0.6~1.18	150	300	1374	362	90
⑦	0.6	0	2.36~4.75	145	242	1389	624	0
⑧	0.6	15	0.6~1.18	150	250	1378	527	37
⑨	0.6	30	1.18~2.36	160	267	1374	415	80

表4 冲磨试验数据

%, mm, kg, d, h/(kg·m<sup>2</sup>)

编号	水灰比 (因素 A)	胶粒掺量 (因素 B)	胶粒粒径 (因素 C)	初始 质量	冲磨后 质量	质量 损失	冲磨 时间	抗冲磨 强度
①	0.4	0	0.60~1.18	18.006	17.312	0.694	3	7.33
②	0.4	15	1.18~2.36	17.300	17.178	0.122	1	13.90
③	0.4	30	2.36~4.75	16.735	15.935	0.800	1	2.12
④	0.5	0	1.18~2.36	17.581	17.185	0.396	1	4.28
⑤	0.5	15	2.36~4.75	17.214	17.095	0.119	1	14.25
⑥	0.5	30	0.60~1.18	17.285	16.364	0.921	1	1.84
⑦	0.6	0	2.36~4.75	17.533	16.601	0.932	2	3.64
⑧	0.6	15	0.60~1.18	16.882	16.705	0.177	1	9.58
⑨	0.6	30	1.18~2.36	16.593	15.532	1.061	1	1.60

表5 极差分析表

%, mm, kg/m<sup>2</sup>

试验号	水灰比 (因素 A)	胶粒掺量 (因素 B)	胶粒粒径 (因素 C)	抗冲磨 强度
①	1(0.4)	1(0)	1(0.6~1.18)	7.33
②	1(0.4)	2(15)	2(1.18~2.36)	13.90
③	1(0.4)	3(30)	3(2.36~4.75)	2.12
④	2(0.5)	1(0)	2(1.18~2.36)	4.28
⑤	2(0.5)	2(15)	3(2.36~4.75)	14.25
⑥	2(0.5)	3(30)	1(0.6~1.18)	1.84
⑦	3(0.6)	1(0)	3(2.36~4.75)	3.64
⑧	3(0.6)	2(15)	1(0.6~1.18)	9.58
⑨	3(0.6)	3(30)	2(1.18~2.36)	1.60
K1	23.35	15.25	18.75	
K2	20.37	37.73	19.78	
K3	14.82	5.56	20.01	
k <sub>1</sub>	7.78	5.08	6.25	
k <sub>2</sub>	6.79	12.58	6.59	
k <sub>3</sub>	4.94	1.85	6.67	
极差 R	2.84	10.73	0.42	

注:K为各因素各水平下橡胶混凝土抗冲磨强度的总和;k为各因素各水平下橡胶混凝土抗冲磨强度的平均值;R为各因素各水平下橡胶混凝土抗冲磨强度平均值的极差。

由表5中因素A所在列的3个K值可以看出,K<sub>1</sub>值最大,故因素A的水平A<sub>1</sub>(水灰比为0.4)比其余两个水平要好。同理,因素B的水平B<sub>2</sub>,因素C的水平C<sub>3</sub>比其余两个水平因素要好,因此得到最好的试验条件为:A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>。

各列极差R值的大小用来衡量试验中相应因素的作用大小,极差值大的因素说明它的各水平对考核指标的影响较大,通常是最重要的因素,而极差值小的因素则往往是次要因素,所以按照极差值的大小,可以排列出各因素的主、次顺序。本次试验各因素的主次顺序为B>A>C,即胶粒掺量是R的主要因素,其次为水灰比,第三是胶粒粒径的大小。

因此,最佳试验条件为:A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>3</sub>。

即:A<sub>1</sub>水灰比为0.4;B<sub>2</sub>胶粒掺量为15%;C<sub>3</sub>胶粒粒径为2.36~4.75mm。

### 2.3 方差分析法

所谓方差分析是将因素水平(或交互作用)的变化引起的实验结果间的差异与误差的波动所引起的实验结果间的差异区分开来的一种数学方法。经

计算分析得表6。

表6 方差分析表

方差来源	平方和	自由度	均方	F 值	临界值
因素 A	12.49	2	6.245	1.32	$F_{0.01}(2,2) = 99$
因素 B	562.26	2	281.130	59.62	$F_{0.05}(2,2) = 19$
因素 C	0.24	2	0.120	0.025	$F_{0.1}(2,2) = 9.0$
误差	9.43	2	4.715		
总和	584.42	8			

由表6可以看出,  $F$  值的大小用来衡量试验中相应因素的作用大小,  $F$  值大的因素说明它对考核指标的影响较大,通常是重要的因素,而  $F$  值小的因素则往往是次要因素。

由表6看出,因素B的  $F$  值要比其他两个因素的  $F$  值要大,故影响要比其他两个值大,故与表5中的极差  $R$  和  $K$  值分析结果一致,即胶粒掺量是主要因素,其次为水灰比,第三是胶粒粒径的大小。

综上所述可以得出最优试验条件为:  $A_1B_2C_3$ 。

即:  $A_1$  水灰比为 0.4;  $B_2$  胶粒掺量为 15%;  $C_3$  胶粒粒径为 2.36~4.75 mm。

### 3 结 语

橡胶混凝土是近年来比较受关注的一种新型混凝土,是近几年混凝土性能研究中的热点课题。本文在以往橡胶混凝土研究基础上,采用水下钢球法对混凝土进行抗冲磨强度试验,通过对橡胶混凝土在不同水灰比、胶粒掺量、粒径大小的情况下的抗冲磨性能的研究,得到一些结论:(1)水灰比与橡胶混凝土的抗冲磨强度具有良好关系,水灰比小时,混凝土的强度提高,弹性模量提高,有利于提高混凝土的耐磨性,但是水灰比不能无限制的降低,必须能够提供胶凝材料完全水化所需的水分及保证施工过程中

的和易性。(2)随着橡胶颗粒掺量的增加,混凝土的耐磨性先提高后降低,橡胶掺量 15% 时混凝土的抗冲磨强度最高,当掺量达到 30% 时,抗冲磨强度反而比未掺入时低。(3)本实验采用 3 种粒径的橡胶颗粒,掺入粒径为(2.36~4.75 mm)的混凝土耐磨性能最佳,其单位磨损量最小。

### 参考文献:

- [1] 尤伟. 橡胶粉改性水泥混凝土路用性能的研究[D]. 桂林: 桂林理工大学, 2009.
- [2] 范昆. 橡胶混凝土抗冲磨性能研究[D]. 天津: 天津大学, 2010.
- [3] 刘冬梅. 粉煤灰对混凝土抗冲磨性能的影响[J]. 混凝土, 2010, (8): 80-81.
- [4] 陈波, 张亚梅, 陈胜霞, 等. 橡胶混凝土性能的初步研究[J]. 混凝土, 2004 (12): 37-39.
- [5] 杨卫坤, 袁群, 冯凌云, 等. 橡胶混凝土拌合物性能试验研究[J]. 人民黄河, 2011, 33(9): 128-130.
- [6] 刘春生. 橡胶集料混凝土的研究和应用[D]. 天津: 天津大学, 2005.
- [7] 李红燕. 橡胶改性水泥基材料的性能研究[D]. 南京: 东南大学, 2004.
- [8] 范国兵. 橡胶混凝土的材料特性及其应用技术研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2007.
- [9] 徐占磊. 基于抗车辙功能的高模量沥青混凝土路面力学响应与结构设计[D]. 西安: 长安大学, 2011.
- [10] 徐俊. 汽车安全带产品开发过程中的质量控制[D]. 上海: 上海交通大学, 2011.
- [11] 李强. 密花石斛多糖 DDP-1-D 的分离纯化及结构表征[D]. 广州: 南方医科大学, 2012.
- [12] 程爽. 基于交通特性的高速公路改扩建工程合理分段方法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2013.
- [13] 蔡霞. 多角弯曲件冲压回弹预测研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2010.