

# Study on Capability of Crumb Rubber Asphalt Mixture

Changqi Wang, Yan Xu, Zihui Liu

School of Civil Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang Liaoning  
Email: 2438489115@qq.com

Received: Dec. 20<sup>th</sup>, 2017; accepted: Jan. 3<sup>rd</sup>, 2018; published: Jan. 10<sup>th</sup>, 2018

---

## Abstract

In order to evaluate durability of rubber particles asphalt mixture, through water stability, high temperature stability, low temperature crack resistance and anti stripping property, the different amount of crumb and different particle sizes of rubber asphalt mixture were compared. Experimental results show that the addition of rubber particles can improve the durability of asphalt mixture remarkably. When the dosage is 3%, the improvement effect of asphalt mixture is optimal.

## Keywords

Crumb Rubber Asphalt Mixture, Durability, Anti Stripping Property

---

# 橡胶颗粒沥青混合料性能研究

王长棋, 徐岩, 刘子辉

沈阳建筑大学, 土木工程学院, 辽宁 沈阳  
Email: 2438489115@qq.com

收稿日期: 2017年12月20日; 录用日期: 2018年1月3日; 发布日期: 2018年1月10日

---

## 摘要

为了研究橡胶颗粒沥青混合料的路用性能, 通过水稳定性、高温稳定性、低温抗裂性以及抗剥落性方面, 对不同粒径、不同掺量的橡胶颗粒沥青混合料进行了对比。试验结果表明: 橡胶颗粒的加入对沥青混合料的路用性有明显的改善作用, 当掺量在3%时, 对沥青混合料的改善效果达到最优。

## 关键词

橡胶颗粒沥青混合料, 耐久性, 抗剥落性

---

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

在我国,对废旧的橡胶轮胎的处理主要是通过旧轮胎翻新成新轮胎继续使用,或是旧轮胎制作成再生橡胶、热裂解和橡胶粉。轮胎进行翻新处理能够有效避免橡胶制品生产时向外界排放的毒性物质,并且能够节省大量的能源,但此方法制作的轮胎使用耐久性只有新胎的50%~70%,并且生产时会再次污染周边环境[1]。将橡胶颗粒掺入到沥青混合料中成为了废旧轮胎利用的新方式。

橡胶颗粒作为骨料替代同等级粒径的集料,掺入混合料中,拌和时不需要增加附加设备,便于实际施工。拌和时橡胶颗粒与沥青发生反应会在一定程度上提高沥青混合料的粘结性,增强路面抵抗变形的能力,另外橡胶颗粒沥青混合料路面具有较好的降噪功能,利用自身高弹性的物理性质使得混合料的高温稳定性及低温抗裂性得到了提高[2]。近年来,把橡胶颗粒应用到沥青路面上的工程越来越多,极大地解决了废弃橡胶轮胎的处理问题,减轻了对环境的污染[3][4]。

目前,已铺成的路面普遍存在橡胶颗粒剥落严重、重载交通下车辙较明显等问题,橡胶颗粒的掺入会改变原有的路面结构,影响了路面的使用寿命,因此,如何保证橡胶颗粒掺入后沥青混合料良好的路用性能,同时改善路面病害现象的发生,需要对混合料的性能做进一步的试验研究。

## 2. 沥青混合料性能

本研究采用90#基质沥青,试验分不掺加橡胶颗粒与掺加1.5%、3%的橡胶颗粒的沥青混合料,在两种掺量下分别增加0.6~1 mm和1~3 mm两种橡胶颗粒粒径,通过评价5种不同配比的橡胶颗粒沥青混合料受水损害、高温作用、低温作用的破坏程度,比较不同粒径、掺量的橡胶颗粒对连续级配混合料路用性能的影响。

### 2.1. 水稳定性研究

目前,评价沥青混合料水稳定性的试验方法有很多,包括:浸水马歇尔试验、浸水车辙试验、冻融劈裂试验、浸水劈裂试验等等,虽然试验的方法不同,但结果对水稳定性的评价基本是相同的[5]。本文通过浸水马歇尔、冻融劈裂、浸水车辙等试验来评价橡胶颗粒沥青混合料的水稳定性,并以马歇尔试件的残留稳定度、劈裂强度及浸水动稳定度作为评价指标。

#### 2.1.1. 浸水马歇尔试验

浸水马歇尔试验评价混合料水稳定性时,侧重于检测混合料受水损害时抵抗剥落的能力。

通过室内试验经马歇尔试验仪测得橡胶颗粒掺量为0、1.5%、3%时,0.6~1 mm、1~3 mm两种橡胶颗粒粒径的马歇尔稳定度,见表1。

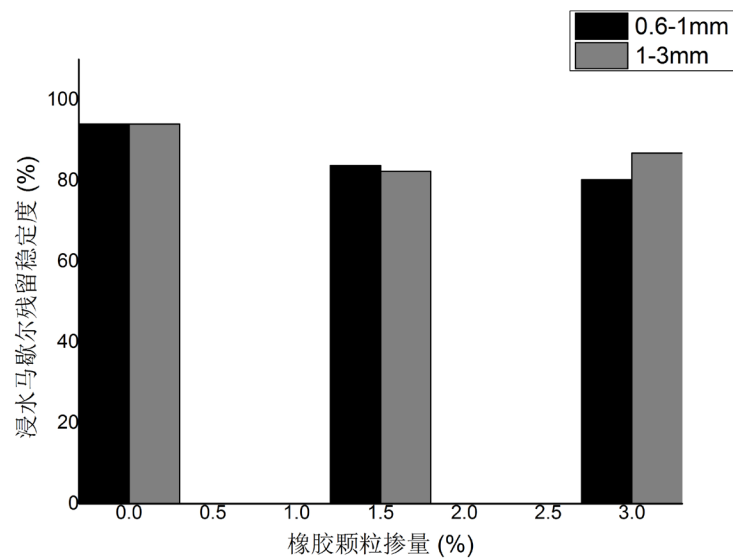
根据表中的数据计算浸水马歇尔残留稳定度值并绘制橡胶颗粒掺量、粒径与残留稳定度间的关系,见图1。

由图1可知:本研究各配合比方案均设计合理,各组混合料残留稳定度均满足最低限值80%的要求,橡胶颗粒沥青混合料试件的残留稳定度值均明显小于不掺加橡胶颗粒的混合料试件。

橡胶颗粒粒径为0.6~1 mm的沥青混合料,随掺量升高混合料浸水残留稳定度呈下降趋势。橡胶颗粒粒径为1~3 mm的沥青混合料,随掺量升高混合料浸水残留稳定度呈上升趋势。橡胶颗粒掺量为1.5%的

**Table 1.** The immersion Marshall stability  
**表 1.** 浸水马歇尔稳定度

橡胶颗粒掺量 橡胶颗粒粒径		0	1.5%		3%	
		-	0.6~1 mm	1~3 mm	0.6~1 mm	1~3 mm
实验组	1	10.79	9.57	9.01	7.30	7.91
	2	10.47	9.13	9.33	7.72	8.14
	3	10.23	9.06	8.85	7.24	8.65
	4	9.92	8.98	8.77	7.62	8.37
对照组	1	11.26	11.12	10.78	9.38	9.74
	2	11.41	10.93	11.36	9.43	9.26
	3	10.85	10.88	11.15	9.37	9.43
	4	11.01	11.21	10.68	8.91	9.59



**Figure 1.** Effect of rubber particles on immersion Marshall stability

**图 1.** 橡胶颗粒对浸水马歇尔残留稳定度的影响

沥青混合料，0.6~1 mm 橡胶颗粒的浸水残留稳定度值高于 1~3 mm 橡胶颗粒。橡胶颗粒掺量为 3% 的沥青混合料，1~3 mm 橡胶颗粒浸水残留稳定度优于 0.6~1 mm 橡胶颗粒。

试验结果表明：随着橡胶颗粒掺量的增加，橡胶颗粒本身硬度低，过细的橡胶颗粒使弹性性能减弱受力时无法发挥自身弹性抵抗荷载作用，且易引起拌和不均匀使混合料骨架结构密实程度达不到设计要求，致使残留稳定度降低。而粗粒径橡胶颗粒在混合料中的密集度低于细粒径橡胶颗粒，不易发生细颗粒拌和不均匀的现象，承受荷载作用时能够发挥自身弹性较高的特性为混合料提供与受压方向相反的力，使得残留稳定度值得以增大。

在橡胶颗粒掺量相同的情况下，随着掺量的增加，细粒径的橡胶颗粒与沥青接触面大，能更好地与沥青发生化学反应的优势逐渐减小，当掺量增加后，过多的细橡胶颗粒会积聚成团，仅外层的橡胶颗粒能与沥青反应会形成包裹作用，增大混合料的空隙率，而粗橡胶颗粒由于掺量增多，橡胶弹性的优势发挥的更加明显，使得粗橡胶颗粒的沥青混合料浸水残留稳定度值更高。

### 2.1.2. 冻融劈裂试验

冻融劈裂试验通过混合料受水损害前后劈裂破坏的强度来评价混合料的水稳定性。经试验测得冻融循环试件劈裂抗拉强度列于表 2 中。

由图 2 可知, 各配合比的混合料劈裂抗拉强度均随冻融循环次数的增加而减小。冻融循环次数相同的条件下, 沥青混合料的劈裂抗拉强度随橡胶颗粒掺入量的升高而下降; 随着冻融循环次数的增加, 粗粒径橡胶颗粒沥青混合料的劈裂抗拉强度降幅最小。

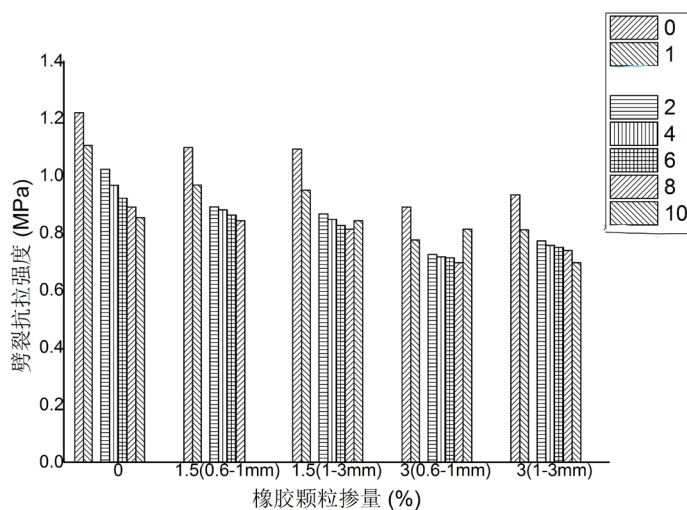
试验结果表明: 随着橡胶颗粒掺量的增加, 橡胶颗粒本身具有高弹性的性能, 在试件成型时抵消了一部分冲击荷载, 降低了试件的密实度。试件成型养护时橡胶颗粒将挤压周围混合料, 使试件高度增大、空隙率升高, 导致沥青混合料的劈裂抗拉强度降低。

随着冻融循环次数的增加, 在一定范围内, 橡胶颗粒掺量较多时, 虽然试件的空隙率升高了, 但自由水经饱和作用进入混合料空隙中, 冰冻条件下挤压周围混合料, 粗粒径橡胶颗粒弹性更高, 阻碍混合料空隙受冻胀作用而破坏的效果却更好。

**Table 2.** Splitting tensile strength of freeze-thaw cycle test with different rubber particle volume and particle size of asphalt mixture (MPa)

**表 2.** 不同橡胶颗粒掺量、粒径的沥青混合料冻融循环试件劈裂抗拉强度(MPa)

橡胶掺量	0		1.5%		3%	
橡胶粒径	-	0.6~1 mm	1~3 mm	0.6~1 mm	1~3 mm	
循环次数						
0	1.220	1.099	1.093	0.891	0.933	
1	1.106	0.968	0.950	0.776	0.811	
2	1.023	0.923	0.908	0.743	0.789	
4	0.967	0.892	0.867	0.725	0.773	
6	0.922	0.881	0.848	0.717	0.757	
8	0.891	0.863	0.827	0.714	0.750	
10	0.854	0.843	0.814	0.697	0.739	



**Figure 2.** Splitting tensile strength of freeze-thaw cycle test with different rubber particle volume and particle size of asphalt mixture (MPa)

**图 2.** 不同橡胶颗粒掺量、粒径的沥青混合料冻融循环试件劈裂抗拉强度(MPa)

### 2.1.3. 浸水车辙试验

浸水马歇尔试验试件的尺寸小,测定时数据变异性较大,同时试验是建立在不考虑交通荷载对道路影响的基础上。道路实际运营时浸水饱和后的路面在行车荷载的作用下,会引起动水压力对沥青及矿料接触的薄弱界面作用,削弱了沥青混合料粘结性[6]。冻融循环周期过长,检测一组试件的试验结果通常要3天左右。国外道路工程研究人员主张利用汉堡浸水轮载试验对沥青混合料的水稳定性进行评价[5]。

本研究利用浸水车辙试验,评价在行车荷载作用下混合料的水稳定性能。结果列于表3中。

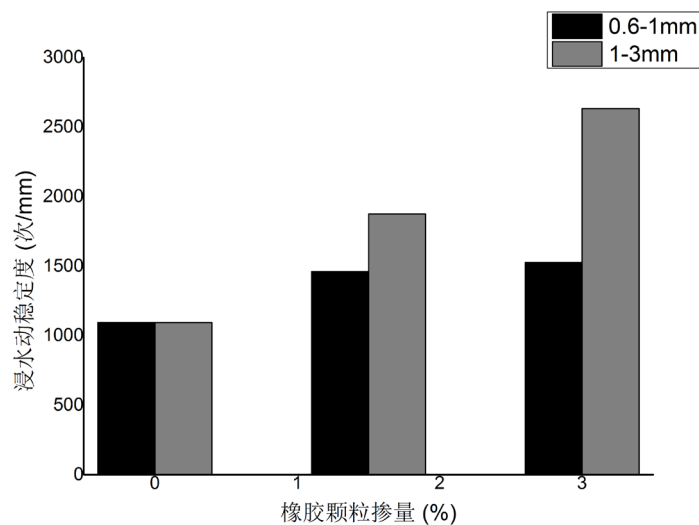
由表3和图3可知,各配合比的混合料试件浸水动稳定度均符合规范中动稳定度不小于800次/mm的要求。1~3 mm橡胶颗粒试件的浸水动稳定度,随着橡胶颗粒掺量的不断增加,逐渐超过了0.6~1 mm橡胶颗粒试件。

试验结果表明:浸水后的试件动稳定度大幅下降,其中掺入橡胶颗粒的试件动稳定度较好。车辙板经饱和和作用后,碾压时将产生动水压力挤压周围混合料,破坏车辙板内部稳定性。由于橡胶颗粒与沥青发生溶胀反应可生成类似于橡胶沥青的性质,增强了沥青混合料密实性及粘结性,能更好的减弱动水压力对混合料的影响。橡胶颗粒沥青混合料能够利用自身较高的弹性在轮碾时提供反力,并在卸载后恢复一定的形变,减小荷载对混合料破坏后产生的永久变形。

综合试验结果表明:在一定范围内,随着橡胶颗粒掺量的增加,沥青混合料抵抗水损害的能力有所提高,即水稳定性更好。

**Table 3.** The influence of rubber particles on the immersion dynamic stability  
**表 3.** 橡胶颗粒对浸水动稳定度的影响

橡胶颗粒掺量 橡胶颗粒粒径		0		1.5%		3%	
		-	0.6~1 mm	1~3 mm	0.6~1 mm	1~3 mm	
浸水动稳	1	1054	1431	1817	1477	2571	
定度(次	2	1139	1528	1895	1583	2652	
/mm)	3	1091	1424	1913	1518	2673	
	平均值	1094	1461	1875	1526	2632	



**Figure 3.** The influence of rubber particles on the immersion dynamic stability

**图 3.** 橡胶颗粒对浸水动稳定度的影响

## 2.2. 高温稳定性研究

以动稳定度作为评价指标, 检测混合料高温抗车辙能力。依照相应规程进行试验检测, 试验结果列于表 4 中。

由表 4 和图 4 可知, 各配合比的混合料试件动稳定度均符合规范中动稳定度不小于 800 次/mm 的要求。掺加橡胶颗粒的车辙试件高温稳定性较好, 动稳定度得到了提高。在相同的橡胶颗粒掺量下, 1~3 mm 橡胶颗粒混合料试件的动稳定度较高。在相同的橡胶颗粒粒径下, 掺加橡胶颗粒混合料试件的动稳定度与橡胶颗粒掺量大小呈同向变化趋势。

试验结果表明: 橡胶颗粒的掺入不仅没有削弱混合料的高温稳定性, 反而优化了混合料抗车辙的能力。橡胶颗粒弹性较高, 掺入混合料后改变了粒料间的接触形式, 使混合料在行车荷载作用下能够利用自身弹性抵抗部分变形。另外, 橡胶颗粒与沥青发生反应生成某些类似橡胶沥青的性质, 增强了沥青混合料的粘性。因为橡胶颗粒能够在一定范围内提高沥青混合料的压实度, 为混合料提供弹性性能的同时改善了混合料压实度, 从而提高了混合料的高温稳定性。

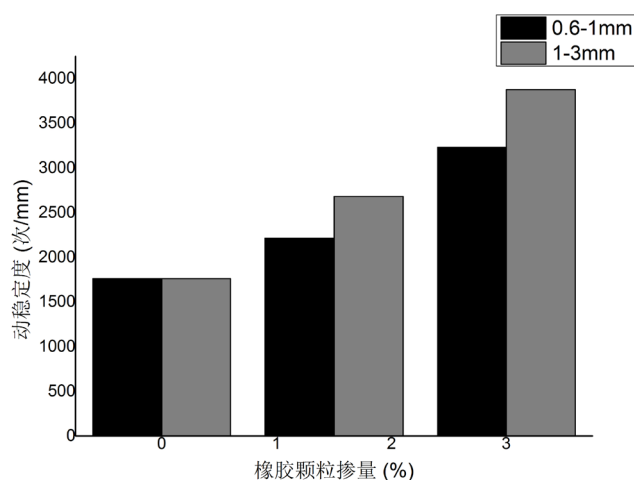
## 2.3. 低温抗裂性研究

本研究利用低温弯曲试验来检测混合料的低温抗裂性, 即力学性质。并按规程检测试件的密度、空隙率。随后将试件置于万能材料试验机中-10℃保温 4 h, 试验时以 50 mm/min 速率在试件中部施压至破坏, 对电脑出图数据进行拍照记录。将橡胶颗粒沥青混合料各低温性能指标去掉变异性较大的值, 取剩

**Table 4.** The influence of rubber particles on the dynamic stability

**表 4.** 橡胶颗粒对动稳定度的影响

橡胶颗粒掺量 橡胶颗粒粒径		0	1.5%		3%	
		-	0.6~1 mm	1~3 mm	0.6~1 mm	1~3 mm
动稳定 度(次 /mm)	1	1721	2320	2596	3259	3853
	2	1750	2198	2713	3237	3860
	3	1815	2127	2740	3197	3918
	平均值	1762	2215	2683	3231	3877



**Figure 4.** The influence of rubber particles on the dynamic stability

**图 4.** 橡胶颗粒对动稳定度的影响

余试件指标的算术平均值列入表 5 中。

由表 5 可知, 掺加橡胶颗粒后混合料的破坏弯拉应变均符合规范中对于辽宁省破坏应变应不小于 2300 的要求。随掺加的橡胶颗粒体积增多, 试件的抗弯拉强度减小, 破坏应变增大, 破坏劲度模量减小。同未掺加橡胶颗粒的试件相比, 掺量为 1.5%、3% 粒径为 0.6~1 mm、1~3 mm 的橡胶颗粒沥青混合料抗弯拉强度分别降低了 0.78 MPa、1.03 MPa、1.83 MPa、1.95 MPa; 破坏劲度模量分别降低了 214.85 MPa、402.84 MPa、472.35 MPa、1029.05 MPa; 破坏弯拉应变分别提高了 149.72、559.48、791.41、1077.23 (图 5~7)。

在相同的限制条件下, 破坏弯拉应变与破坏劲度模量呈相反变化规律, 随应变值增大, 试件的低温抵抗变形能力增强。

试验结果表明: 橡胶颗粒不同于石料, 在低温条件下, 仍具有良好的弹性性能, 从而使得橡胶颗粒沥青混合料在低温条件下拥有较好的弹性, 因而提高了混合料的低温抗裂性。

## 2.4. 抗剥落性研究

本研究利用标准肯塔堡飞散试验检测试件在行车荷载作用下道路表面粗、细集料剥落损失的程, 作为评价混合料抗剥落性的指标, 见表 6。

由表 6 和图 8 可知, 所有试件 3 次水浴循环后, 标准肯塔堡飞散损失率均满足规范中飞散损失率不大于 20% 的要求。沥青混合料具有较好的粘结性, 橡胶颗粒掺量在一定范围时能有效的降低沥青混合料的标准飞散损失。在相同的水浴循环次数下, 掺量为 1.5% 的 0.6~1 mm 橡胶颗粒混合料试件飞散损失率最低, 提升混合料粘结性作用的效果最显著, 混合料的剥落性最佳。

试验结果表明: 细橡胶颗粒与沥青接触面积大, 溶胀反应后提升沥青混合料粘结性作用更明显。粗橡胶颗粒高弹性的性质使混合料成型时不易压实、空隙率较大, 致使试件稳定性较低。

Table 5. Low temperature performance index

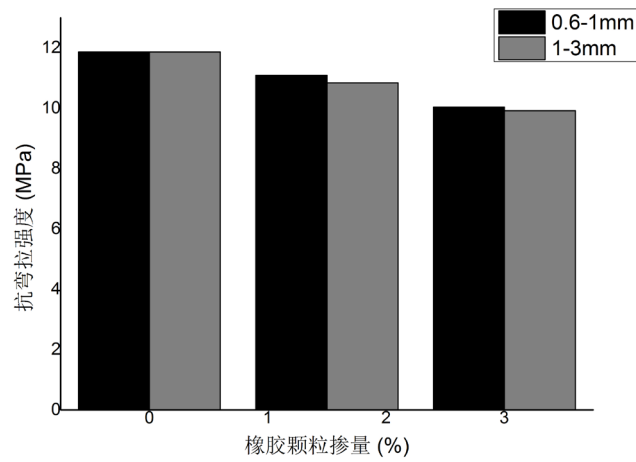
表 5. 低温性能指标

橡胶颗粒掺量% 橡胶颗粒粒径 mm	0		1.5		3	
	-	0.6~1	1~3	0.6~1	1~3	-
最大荷载 N	1583	1447	1335	1323	1249	
破坏跨中挠度 mm	0.359	0.453	0.531	0.599	0.684	
抗弯拉强度 MPa	11.87	11.09	10.84	10.04	9.92	
破坏弯拉应变	2268.31	2418.06	2827.82	3059.75	3345.57	
破坏劲度模量 MPa	4397.51	4182.66	3994.67	3925.16	3368.46	

Table 6. Cycle dispersion loss rate/%

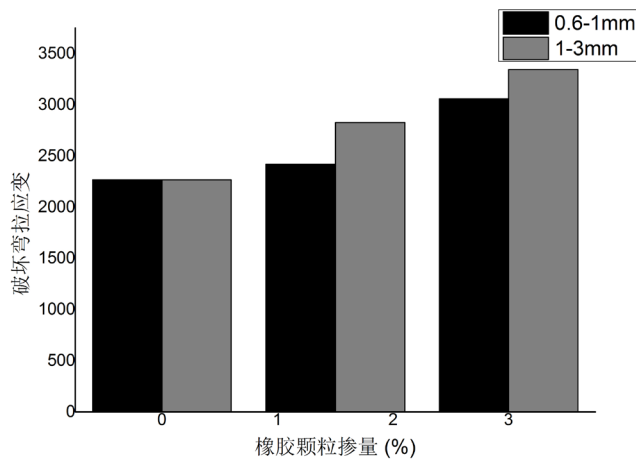
表 6. 循环飞散损失率/%

橡胶掺量 橡胶粒径	0		1.5%		3%	
	-	0.6~1 mm	1~3 mm	0.6~1 mm	1~3 mm	-
循环次数						
0	3.78	2.05	3.45	6.08	4.01	
1	10.82	5.43	7.96	11.23	9.14	
2	14.36	7.66	10.21	15.78	12.53	
3	18.74	9.73	12.16	20.16	15.22	
4	27.99	15.83	22.37	50.38	26.71	
5	46.11	29.35	36.85	62.19	39.26	
6	62.46	35.77	44.23	70.31	51.18	



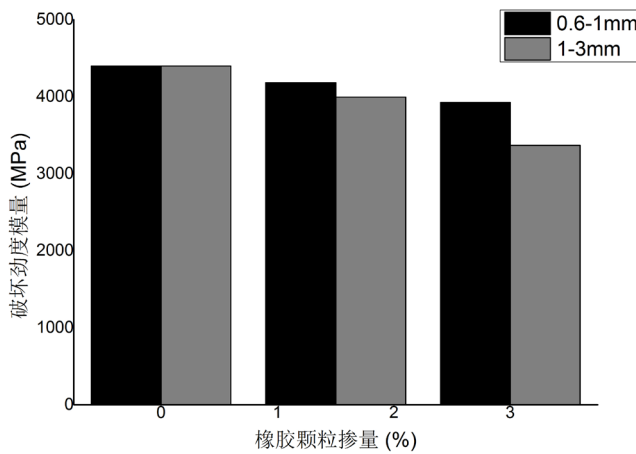
**Figure 5.** The influence of rubber particles on the flexural tensile strength

**图 5.** 橡胶颗粒对抗弯拉强度的影响



**Figure 6.** The influence of rubber particles on the failure strain

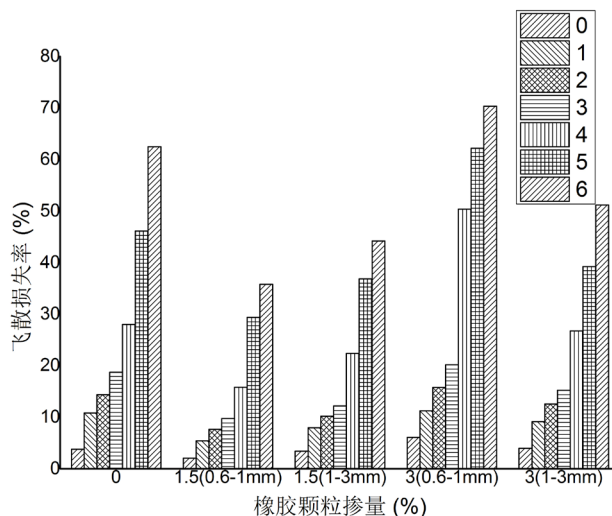
**图 6.** 橡胶颗粒对破坏弯拉应变的影响



**Figure 7.** The influence of rubber particles on the failure stiffness modulus

**图 7.** 橡胶颗粒对破坏劲度模量的影响





**Figure 8.** Different scattering loss rates of rubber particles asphalt mixture

**图 8.** 不同颗粒橡胶沥青混合料飞散损失率

### 3. 结论

针对橡胶颗粒掺量、粒径与沥青混合料耐久性、抗剥落性的关系进行了试验研究, 结果表明:

1) 橡胶颗粒的掺入将会影响沥青混合料的各种性能。浸水马歇尔残留稳定度、劈裂抗拉强度随着橡胶颗粒的增加而减小, 浸水动稳定度增加。通过三个指标的变化可以反映沥青混合料的水稳定性受橡胶颗粒的影响降低。随着橡胶颗粒掺量的增加, 在一定范围内, 1~3 mm 粒径橡胶颗粒沥青混合料能够发挥更好的弹性性能, 水稳定性相对更好。

2) 随着橡胶颗粒掺量的增加, 沥青混合料路面变形的能力越来越高, 受到橡胶颗粒弹性影响其变形恢复能力也越来越高, 相对降低了路面的车辙损害, 当掺量到 3% 时, 混合料的高温稳定性达到最优。

3) 橡胶颗粒的掺入使混合料的抗弯拉强度减小, 破坏应变增大, 破坏劲度模量减小, 提高了混合料在低温下抵抗变形的能力。掺量为 3% 时, 1~3 mm 橡胶颗粒的破坏应变最大, 低温抗裂性能最好。

4) 在相同的水浴循环次数下, 掺量为 1.5% 的 0.6~1 mm 橡胶颗粒混合料试件飞散损失率最低, 在相同的橡胶颗粒粒径下, 随掺加的橡胶颗粒体积增加混合料的飞散损失率升高。橡胶颗粒掺量为 1.5% 的 0.6~1 mm 沥青混合料水浴循环后标准飞散损失率最低, 提升混合料抗剥落性的效果最佳。

### 基金项目

辽宁省自然科学基金项目(201602629); 住房与城乡建设部科研项目(2016-K6-023)。

### 参考文献 (References)

- [1] 岳现杰, 许冠英. 废旧轮胎回收利用现状及污染防治对策研究[J]. 工业安全与环保, 2010, 36(1): 37-39.
- [2] 翟科玮, 杨建峰, 李文杰, 等. 橡胶颗粒沥青混合料的稳定性能[J]. 河南科技大学学报(自然科学版), 2013, 34(3): 58-62.
- [3] Mandula, J., Olexa, T., Holubka, M., *et al.* (2014) Investigation of Asphalt Pavement with Added Crumb Rubber. *e-GFOS*, 5, 19-26. <https://doi.org/10.13167/2014.8.3>
- [4] 曹高尚, 徐真真. 橡胶颗粒沥青混合料路用性能室内试验研究[J]. 武汉大学学报, 2014, 47(2): 230-233.
- [5] 朱福, 战高峰. 沥青混合料耐久性分析[J]. 吉林建筑工程学院, 2010, 27(3): 25-28.
- [6] 陈志忠, 郭莉. 如何改善沥青与集料的粘附[J]. 建筑工程技术与设计, 2014(17), 591-591.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3458，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)