

文章编号: 1002-0268 (2008) 12-0201-06

橡胶粉改性沥青降噪机理及试验研究

王云鹏, 韦大川, 李世武, 杨志发, 隗海林

(吉林大学 交通学院, 吉林 长春 130022)

摘要: 从橡胶粉改性沥青对路面噪声的影响出发, 利用电子显微照片对橡胶粉的微观结构进行了研究, 从空隙吸声和阻尼减振方面对橡胶粉改性沥青的降噪机理进行了分析。利用正交试验法优选了橡胶粉改性沥青配方, 进行了试验路段铺设; 采用定点法和车载法进行了道路噪声效果对比测试, 分别进行了两种方法不同频率下的噪声级对比分析, 绘制了噪声峰值比较图和噪声总量比较图。数据统计结果表明, 橡胶粉改性沥青与 SBS 改性沥青路面相比有明显的降噪效果, 为降低道路交通噪声提供了一条新思路。

关键词: 环境工程; 改性沥青; 噪声分析; 废旧橡胶粉

中图分类号: U416. 218

文献标识码: A

Study on Noise Reduction Mechanism and Experiment of Rubber Powder Modified Asphalt

WANG Yun-peng, WEI Da-chuan, LI Shi-wu, YANG Zhi-fa, KUI Hai-lin

(School of Transportation, Jilin University, Changchun Jilin 130022, China)

Abstract: Considering the impact of rubber powder modified asphalt on the pavement noise, the microstructure of the waste rubber powder was studied using electron microscopy. The noise reduction mechanism of rubber powder modified asphalt was analyzed from the aspects of sound absorption of voids and vibration damping. Based on the orthogonal experiment, the best compounding of the modified asphalt was determined and test sections were paved with it. Noise contrastive tests applying on-board noise testing method and fixed device testing method under different frequencies were carried out. The contrastive curves of noise peak value and noise gross based on two kinds of method were illustrated. The statistical results show that the road paved with the waste rubber powder modified asphalts has obvious effect on noise reduction compared to SBS modified asphalts. It provides a new method to reduce the highway traffic noise.

Key words: environmental engineering; modified asphalt; noise analysis; waste rubber powder

0 引言

随着我国汽车工业的飞速发展, 汽车保有量的激增, 报废轮胎堆积所造成的“黑色污染”已经成为一个重要的环境问题, 而将废旧轮胎生产成精细胶粉用于沥青改性不仅在提高沥青高温性能、低温性能以及抗老化性能等方面表现优异, 而且具有降低路面噪声、提高行车安全性等优势^[1~6]。

英国、日本、美国、瑞典、南非、法国等都

对橡胶粉改性沥青进行过大量的研究, 取得了许多研究成果^[1~5], 而国内在橡胶粉改性沥青方面的研究起步较晚, 近几年才逐渐加大了研究的力度^[6], 如交通部公路科学研究所、吉林省交通科学研究所、同济大学等都开展了橡胶粉改性沥青混合料的室内试验研究, 先后铺筑了多条橡胶粉改性沥青试验路段^[7,8]。但目前国内在橡胶粉改性沥青技术方面的研究较多, 主要注重其各种性能指标及应用技术, 而在橡胶粉改性沥青降噪机理及效果方面的研究较少^[9,10]。

收稿日期: 2008-03-26

基金项目: 吉林省交通厅科技项目 (3L1066562417)

作者简介: 王云鹏 (1966 -), 男, 吉林舒兰人, 教授, 研究方向为交通环境与安全技术. (wangyunpeng@jlu.edu.cn)

本文从橡胶粉改性沥青降低路面噪声角度出发,借助电子显微照片对橡胶粉的微观结构进行研究,分析其降噪机理,选择吉林省长平高速公路(长春—四平)上一段橡胶粉改性沥青试验路段作为研究对象,对其路用降噪性能的改善效果进行评价分析。

1 橡胶粉改性沥青降噪机理分析

车辆行驶过程中的路面噪声主要包括气压噪声、振动噪声两部分^[11,12]。

气压噪声是当轮胎在路面上滚动时,与路面接触的轮胎部位被压缩变形,轮胎花纹内空气也随之被挤压,被迫排出形成局部不稳定气流。同时当轮胎通过路面上的不连通小孔时,孔隙内会形成压强较大的气团。然后,当轮胎离开接触面时,受压缩的轮胎花纹舒展并使空腔容积突然增大而形成一定的真空度,大气中的空气被吸入,这种“空气泵吸”作用,导致汽车行驶过程中产生出一种喷射噪声,即由于气流从管口高速喷射,造成周围气体剧烈振动产生的噪声,可将其称之为轮胎与路面间的气压噪声。

振动噪声是汽车轮胎在凹凸路面上滚动时,由于道路和轮胎之间的撞击引起轮胎振动所激发的噪声。

一方面,由于轮胎和路面相互接触时摩擦力的作用,导致轮胎表面花纹产生的压缩形变,在离开路面时轮胎花纹产生的恢复压缩形变,这个犹如音叉振动的过程导致了摩擦噪声。另一方面,由于轮胎不是理想的圆形,路面也不完全光滑,因而在轮胎滚动过程中有一个小的力波动叠加在载荷和摩擦力上,并使胎体振动变形也会产生一定的噪声^[11]。

当声波沿地面传播较长距离时,地面的声阻抗对传播将产生很大影响,如玻璃棉、毛毡、泡沫塑料、橡胶等都是多孔材料,多孔材料具有吸声特性。当声波通过这些多孔性吸声材料时,由于材料本身的内摩擦和材料小孔中的空气与孔壁间的摩擦,使声波能量受到很大的吸收和衰减^[12],这正是在橡胶粉改性沥青能起到降噪作用的基本原理。

1.1 橡胶粉改性沥青孔隙吸声降噪

橡胶颗粒与沥青混合料混合后将发生复杂的物化反应,形成大量相互贯穿的网络结构,小颗粒聚集,但由于橡胶的弹性,聚集体结构松散。图1为本文拍摄的橡胶粉颗粒的电子显微照片,从照片中可以观察到,橡胶粉颗粒呈现明显的多孔结构。因此,橡胶沥青粉改性路面是具有孔隙吸声性能的低噪声路面。

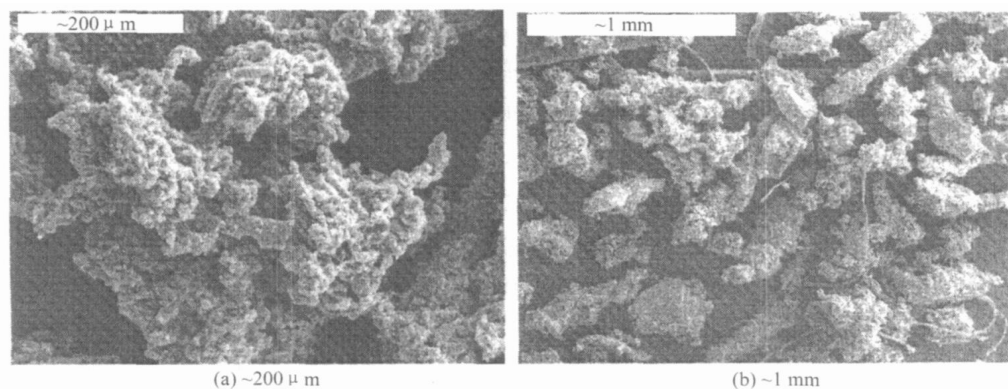


图1 橡胶粉颗粒的电子显微照片

Fig. 1 Electron microscope picture of waste rubber powder

多孔材料表面具有许多相互贯通的小孔,当声波到达材料表面的孔穴时,会产生粘滞损耗,引起孔穴中的空气和孔壁的细小纤维波动与固体筋络发生摩擦。由于摩擦和粘滞阻尼作用,将声能转变为热能而耗散掉。声能就这样反复传播耗散直到平衡,于是材料吸收了部分声能,其原理示意图见图2。由于橡胶改性沥青结构的多孔性,当声波入射到路面上时会产生空腔共振作用吸收声能,起到降低路面噪声的作用。

1.2 橡胶粉改性沥青阻尼减振降噪

随着橡胶粉的加入,改性沥青的弹性明显增加,

图3是本文对加入不同比例的橡胶粉的改性沥青弹性恢复的测试结果。橡胶粉沥青混合料的弹性大于一般沥青混合料(包括SBS混合料)。根据测试,普通沥青混合料的压缩模量为1 200~1 600 MPa,而橡胶粉改性沥青路面的压缩模量为1 000~1 200 MPa,从而增强了路面的阻尼减振功能,达到降低交通噪声的目的。橡胶沥青材料是高弹性材料的胶联体,当受到声波作用时,分子链段产生运动,造成粘性内摩擦和滞后效应,部分声能转化为热能而损耗,实现对声音的吸收。

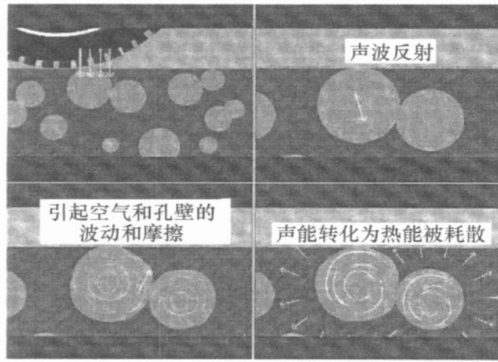


图 2 空腔摩擦噪声损耗示意图

Fig. 2 Schematic diagram of cavity-friction noise wastage

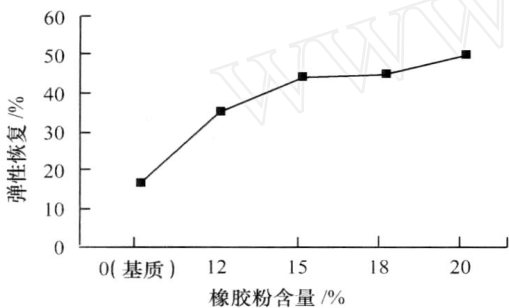


图 3 橡胶粉掺量对沥青弹性恢复的影响

Fig. 3 Relation between waste rubber powder content and asphalts flexibility recovery

2 试验分析

2.1 配方选取

为了测试橡胶粉改性沥青试验路与 SBS 改性沥青路面相比的降噪效果，并对路面噪声进行频谱分析，本文首先进行了大量的室内配方优选试验。

基质沥青：AH-90，盘锦北方沥青股份有限公司。芳烃油是盘锦辽河油田石化总厂生产的 160 号芳烃油；橡胶粉采用北京泛阳伟业科技公司生产的废旧轮胎胶粉，经严格筛分后，取 60~80 目粉料；线形 SBS 选用湖南岳阳化工厂合成橡胶厂生产的 YH-791 线形 SBS，嵌段比 S/B 为 30/70。改性沥青中改性剂计量为外掺法，在通过查阅国内外文献及咨询相关领域专家，确定试验的正交试验配方见表 1。

在以上配方的基础上制作了 26 个试样，分别进行了沥青试验指标对比试验、马歇尔试验指标对比试验及室内噪声系数测试试验，并考虑到 SBS 的成本问题，最终确定了配方 N04 作为橡胶粉改性沥青的最佳配方，然后在长春—四平高速公路 179 km 处进行了 500 m 试验路现场铺设。

2.2 试验设备、路段及车型选取

试验目的是测试橡胶粉改性沥青试验路与 SBS 改

表 1 橡胶粉改性沥青配方优选正交试验表

Tab. 1 The orthogonal experiment table of waste rubber powder modified asphalt compounding optimization

配方编号	A 胶粉/g	B SBS/g	C 芳烃油/g	沥青/g
N01	38.1 (7 %)	16.3 (3 %)	27.2 (5 %)	516.3
N02	38.1 (7 %)	32.6 (6 %)	38.0 (7 %)	505.5
N03	38.1 (7 %)	48.9 (9 %)	48.9 (9 %)	494.6
N04	27.2 (5 %)	16.3 (3 %)	38.0 (7 %)	505.5
N05	27.2 (5 %)	32.6 (6 %)	48.9 (9 %)	494.6
N06	27.2 (5 %)	48.9 (9 %)	27.2 (5 %)	516.3
N07	16.3 (3 %)	16.3 (3 %)	48.9 (9 %)	494.6
N08	16.3 (3 %)	32.6 (6 %)	27.2 (5 %)	516.3
N09	16.3 (3 %)	48.9 (9 %)	38.0 (7 %)	505.5
N10	5.40 (1 %)	16.3 (3 %)	27.2 (5 %)	516.3
N11	5.40 (1 %)	32.6 (6 %)	38.0 (7 %)	505.5
N12	5.40 (1 %)	48.9 (9 %)	48.9 (9 %)	494.6
N13	注：加基质沥青的试件			

注：括号内为百分比。

性沥青路面相比的降噪效果，并对路面噪声进行频谱分析。所选用的试验设备包括：丹麦 B & K3560C 多功能振动噪声分析系统（ $\pm 0.1\text{dB}$ ）、B & K4230 声级校准器、B & K4133 传声器、GPS 定位系统。

选择了长春—四平高速公路 179 km 处所铺设的试验路段及相接的 500 m SBS 改性沥青路面。

试验车型为捷达 Gx1.6L 和金杯海狮 EF12.4L，表 2 是试验车辆的性能参数。

表 2 试验车辆性能参数

Tab. 2 Performance parameters of experiment vehicles

车型	出厂日期	行驶里程/km	总质量/kg	最大扭矩/(N·m)	排量/L	额定功率/kW
捷达 Gx 1.6L	2001	35 000	1 100	135	1.6	64
金杯海狮 EF12.4L	2001	23 000	1 700	198	2.4	88

2.3 试验方法分析

噪声测量的方法主要有车载法和定点法两种，在具体的测试过程中各有利弊^[10~12]。

车载法理论上讲受周围环境噪声影响较小，但缺点是在行驶过程中风的噪声以及由于路面平整度的影响，汽车颠簸而产生的机械噪声对测试结果影响较大。针对此问题，本文在测试过程中采用了相应的解决措施控制风噪声对测试的影响，用棉花等将麦克包裹好，同时为了避免振动的干扰，固定麦克的支架必须保证牢固。采噪点尽量选取平整度好的路段，以避免振动噪声的影响^[12]。

定点法从测量方式看，受环境、测试车辆类型、气候条件影响较大，但优点是测试点相对稳定，因此可以认为，用定点法评价路面的噪声水平实际上是一

个相对的标准,且测试车宜选机械噪声小的汽车^[12]。由于重型汽车车外机械噪声较大,因此本文试验选用小型轿车和中型面包车两种车型,在无风天气下进行,并保证两个测试点的测试时间跨度较小。

3 车载法试验及其结果分析

采用车载法进行噪声对比测试时,主要试验步骤:(1)将声级计探头固定在车底部,对准车轮与地面之间,采用声级计快档 A 计权声级;(2)用 GPS 定位系统确定汽车行驶速度;(3)汽车以 60、80、100、120 km/h 不同车速分别驶过橡胶路面和 SBS 路

面,在两种路面分别选取两个测试点,用 GPS 和声级计分别记录下行驶速度和行车噪声;(4)不同车速多次测量,取平均值;(5)对两种路面的噪声数据进行对比分析。

图 4 是车载法不同频率下的噪声级比较组图,本文分别对 80、250、400、1 000、2 500、4 000 Hz 等不同频率下的噪声级进行了比较,发现橡胶粉改性沥青路面在 1 000 Hz 以下的降噪效果比较明显,即对中低频降噪效果好,高频降噪效果不明显,而交通噪声峰值主要集中在中低频范围内,因此橡胶沥青路面能有效地降低交通噪声。

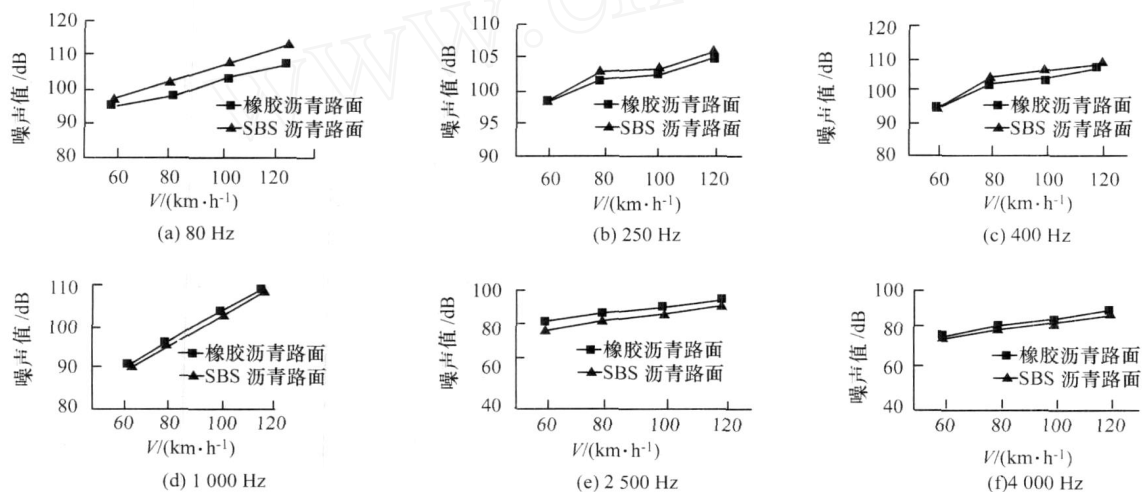


图 4 车载法不同频率下的噪声级比较

Fig. 4 Noise level comparison under different frequencies based on on-board testing

图 5、图 6 是对测试数据进行统计分析的基础上得出的车载法噪声峰值比较图和噪声总量比较图。从峰值比较图 5 可看出,随着车速的增加橡胶沥青路面的降噪效果也越来越明显,平均降低噪声 1.8 dB,最大降噪量为 2.5 dB。从总量比较图 6 可看出,随着车速的增加降噪效果不如峰值图表明明显,但降噪效果仍较明显,平均降噪 1.5 dB,最大降噪量为 2 dB 左右。

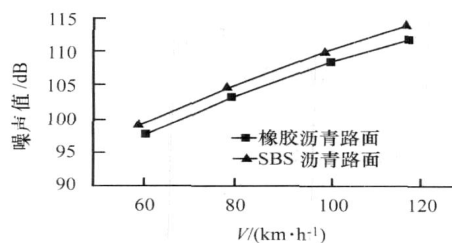


图 5 车载法噪声峰值比较图

Fig. 5 Contrastive curve of noise peak values based on on-board testing

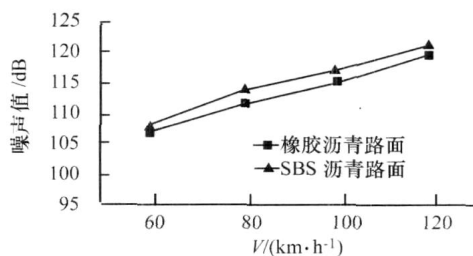


图 6 车载法噪声总量比较图

Fig. 6 Contrastive curve of noise grosses based on on-board testing

4 定点法试验测试及其结果分析

采用定点法进行噪声对比测试时,主要试验步骤:(1)采用声级计快档 A 计权声级,在开阔地带进行;(2)以车辆为中心在半径 50 m 内不得有较大的反射面;(3)长 20 m 内坡度不超过 0.5 % 的平直完好的干燥沥青路面作为测试点;(4)测量时的背景噪声应比所测车辆低 10 dB 以上,否则修正测量结果;(5)由于高速公路并非封闭,只能用—个传声器探头接收,其位置应离车辆行驶中心线 7.5 m。

图7是定点法不同频率下的噪声级比较组图,本文分别对80、250、400、1 000、2 500、4 000 Hz等不

同频率下的噪声级进行了比较,其规律与车载法测试的结果规律基本相同。

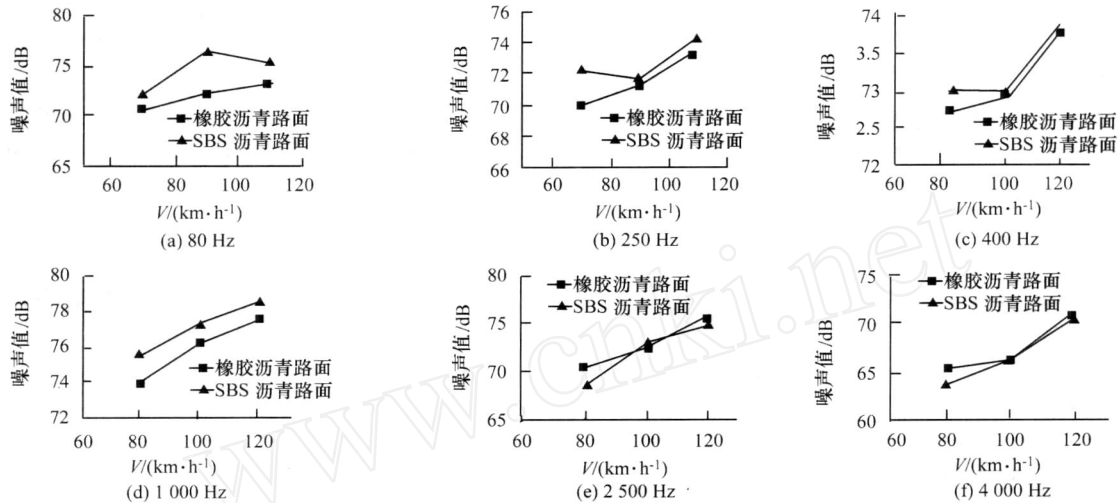


图7 定点法不同频率下的噪声级比较

Fig. 7 Noise level comparison under different frequencies based on fixed device testing

图8、图9是对测试数据进行统计分析的基础上得出的定点法噪声峰值比较图和噪声总量比较图,从定点法噪声峰值比较图8可看出,随着车速的增加,降噪效果越来越明显,平均降低1.5 dB左右,最大降低2.4 dB左右;从定点法噪声总量值比较图9可看出,随着车速的增加降噪效果略有改善,但不如峰值图表数据明显,平均降噪0.5 dB左右,最高降噪音接近1 dB。

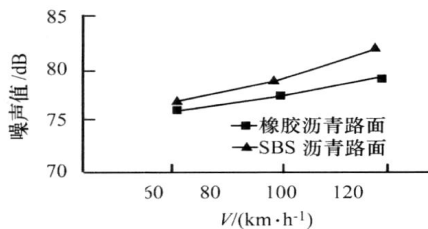


图8 定点法噪声峰值比较

Fig. 8 Contrastive curve of noise peak values based on fixed device testing

分析以上结果,可知定点法测量的数据不如车载法测量数据显示的降噪效果明显,原因主要是受到环境噪声的影响较大,另外在汽车高速行驶过程中想保持与测试点相对稳定的测试距离比较困难,这些都会对测量数据带来一定的影响和偏差。

5 结论

本文分析了橡胶粉改性沥青降噪的机理,利用所研究的橡胶粉改性沥青配方进行了试验路段铺设,采用定点法、车载法分别进行了道路噪声效果对比测

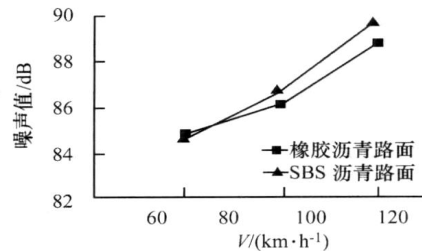


图9 定点法噪声总量比较

Fig. 9 Contrastive curve of noise grosses based on fixed device testing

试。车载法测试数据峰值比较表明,随车速增加橡胶沥青路面的降噪效果越来越明显,平均降低噪声1.8 dB,最大降噪量为2.5 dB;总量比较表明平均降噪1.5 dB,最大降噪量为2 dB左右;从定点法噪声峰值比较图表明,随车速增加降噪效果越来越明显,平均降低1.5 dB左右,最大降低2.4 dB左右;噪声总量值比较表明,平均降噪0.5 dB左右,最高降噪音接近1 dB。

通过数据统计分析可知,橡胶粉改性沥青路面与SBS改性沥青路面相比有明显的降噪作用,为降低道路交通噪声提供了一条新思路。

参考文献:

References:

- [1] 董诚春. 废橡胶资源综合利用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.

- Resources [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.
- [2] 黄文元, 徐立廷. 国内外轮胎橡胶在路面工程中的应用研究 [C] //第六届路面材料及新技术研讨会论文集. 哈尔滨: 2005.
- HUANG Wen-yuan, XU Li-ting. Applied Research of Tire Tread Rubber in Pavement Engineering at Home and Abroad [C] //Proceedings of the sixth Pavement Materials and New Technology Seminar. Harbin: 2005.
- [3] ANDERSON D A, DUKATZ E L, PETERSEN J C. The Effect of Antistrip Additives on the Properties of Asphalt Cement [J]. Journal of Association of Asphalt Paving Technologists, 2002, 51: 298
- [4] 吴灿明, 王旭东, 李惠明. 废旧橡胶粉在沥青混合料中应用的技术研究 [C] //中国公路学 2004 年学术年会论文集. 2004: 45 - 50.
- WU Can-ming, WANG Xu-dong, LI Hui-ming. Applied Technology Research of Crumb Rubber in Asphalt Mixture [C] //Proceedings of Highway Academic in 2004. 2004: 45 - 50.
- [5] 王旭东. 沥青路面材料动力特性与动态参数 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- WANG Xu-dong. Dynamic Characteristics and Dynamic Parameters of Asphalt Pavement Materials [M]. Beijing: China Communications Press, 2002.
- [6] 杨志峰, 李美江, 王旭东. 废旧橡胶粉在道路工程中应用的历史和现状 [J]. 公路交通科技, 2005, 22 (7): 19 - 22.
- YANG Zhi-feng, LI Mei-jiang, WANG Xu-dong. The History and Status Quo of Rubber Powder Used in Road Building [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005, 22 (7): 19 - 22.
- [7] 李智勇. 废旧橡胶改性沥青路用性能与环境评价研究 [D]. 长春: 吉林大学, 2006.
- LI Zhi-yong. The Pavement Performance and Environmental Evaluation of Crumb Rubber Modified Asphalt [D]. Changchun: Jilin University, 2006.
- [8] 曹卫东, 陈旭, 吕伟民. 简述国内外低噪声沥青路面研究状况 [J]. 石油沥青, 2005, 19 (2): 50 - 54.
- CAO Wei-dong, CHEN Xu, LV Wei-min. International and Domestic Status Quo of Research on Low Noise Asphalt Pavement [J]. Petroleum Asphalt, 2005, 19 (2): 50 - 54.
- [9] 姚成. 我国公路交通环境降噪方法的理论和应用 [J]. 环境工程, 1999, 17 (6): 39 - 42.
- YAO Cheng. Theory and Application of Noise Reduction of Highway Environment in China [J]. Environmental Engineering, 1999, 17 (6): 39 - 42.
- [10] 路凯冀, 杨芸波. 胶粉改性沥青路面减噪技术 [J]. 交通节能与环保, 2006 (2): 25 - 28.
- LU Kai-ji, YANG Yun-bo. Technology of Noise Reduction of Asphalt Pavement with Modified Rubber Powder [J]. Energy-saving and Environmental Protection in Transportation, 2006 (2): 25 - 28.
- [11] 陈南. 汽车振动与噪声控制 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.
- CHEN Nan. Automobile Vibration and Noise Control [M]. Beijing: China Communications Press, 2005.
- [12] 张翠梅, 孔永建. 轮胎噪音的噪音特性研究 [J]. 城市道桥与防洪, 2006 (2): 116 - 117.
- ZHANG Cui-mei, KONG Yong-jian. Study on Noise Characteristics of Tyre [J]. Urban Roads Bridges and Flood Control, 2006 (2): 116 - 117.

《公路交通科技》2009 年征订通知

《公路交通科技》杂志创刊于 1984 年, 为中华人民共和国交通运输部主管、交通部公路科学研究院主办的中央一级学术性期刊, 国内外公开发行, 大 16 开本, 为全国中文核心期刊。本刊主要刊登公路交通运输及其相关、相邻学科的学术论文, 主要栏目有: 道路工程、桥梁工程、智能运输系统与交通工程、汽车工程、环境工程以及运输经济等。本刊的读者对象为各大专院校的师生, 从事公路交通运输的科研人员、工程技术人员及管理人员。

国内邮发代号: 2-480, 每册定价 12 元, 全年 12 期共计 144 元。

读者也可通过邮局或银行汇款至编辑部直接订阅。

地 址: 北京市海淀区西土城路 8 号

邮 编: 100088

收款单位: 《公路交通科技》编辑部

开 户 行: 工商银行北京北太平庄支行

帐 号: 0200010009014418686

户 名: 交通部公路科学研究所

电 话: 010-62079198 转 804

传 真: 010 - 62058207

联 系 人: 杨老师

电子信箱: editor@rioh.cn