

骨架密实型低噪声路面降噪机理的实验研究

许雪莹^{1†} 曹卫东² 葛剑敏³ 王佐民³

(1 上海大众汽车有限公司 上海 201805)

(2 山东大学土建与水利学院 济南 250061)

(3 同济大学声学所 上海 200092)

摘要 配制了传统的沥青混凝土 (AC)、碎石沥青玛蹄脂 (SMA)、不同橡胶粉掺量的骨架密实型低噪声路面等 3 类共 5 个配比的沥青路面, 采用驻波法测量了各类沥青路面的吸声系数。并且分析了橡胶粉掺量对密实型低噪声路面动态模量的影响, 得出了结论, 即在这些路面中, 橡胶粉含量为 3% 的密实型路面的减振降噪效果最好。

关键词 动态模量, 吸声系数, 骨架密实结构路面

Experimental study of noise-reducing mechanism of dense framework structure and low noise pavement

XU Xue-Ying¹ CAO Wei-Dong² GE Jian-Min³ WANG Zuo-Min³

(1 Shanghai Volkswagen Corporation., Shanghai 201805)

(2 School of civil Engineering, Shandong University, Jinan 250061)

(3 Institute of Acoustics, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract Three classes of asphalt mixtures were tested, namely, ordinary asphalt concrete, SMA, framework dense structure and low noise pavement with different percentage of rubber powder, the total number of mix being 5. Standing wave method was employed to measure the sound absorption coefficient. By comparing differences between the different kinds, the effect of rubber powder on the dynamic modulus was analyzed, and the conclusion is drawn that SMA with 3% rubber power is the best material among these pavements to reduce vibration and noise.

Key words Dynamic modulus, Sound absorption coefficient, Framework dense structure pavement

2006-03-31 收稿; 2007-02-20 定稿

作者简介: 许雪莹 (1978-), 男, 河南南阳人, 博士, 研究方向: 汽车声学, 环境声学。

曹卫东 (1972-), 男, 博士。葛剑敏 (1962-), 男, 教授, 博士。王佐民 (1944-), 男, 教授, 博士。

† 通讯联系人 E-mail: beiruzi@126.com

1 引言

随着我国汽车产业和城市高速路面的快速发展,车速提高,流量增大,道路交通噪声给道路两侧的居民生活和工作的影响越来越严重。当车速高于 50~60km/h 时,轮胎/路面噪声成为城市环境噪声的最主要的噪声源之一。所以降低轮胎/路面噪声成为治理城市交通噪声的根本方法。目前已知的有降噪效果的沥青路面有^[1~3]:多孔性沥青路面、橡胶沥青路面、SMA 路面、超薄沥青混凝土路面及多孔弹性路面等。骨架密实型低噪声沥青路面是由同济大学研制的一种新型的路面,在沥青混合料中按一定的工艺、剂量掺加废旧橡胶颗粒(由废旧轮胎磨制而成),集料的级配参考 SMA 的配比特色,空隙率设计为 3%~5%。经在试验路上的测试,可比普通路面降噪 2~3dB。目前国内外对该路面的降噪机理的研究基本上还是空白,本文主要从声学 and 力学的参数入手,测量和比较了传统的沥青混凝土(AC)路面,碎石沥青玛蹄脂(SMA)路面,以及加入不同橡胶粉配比的密实型路面的差异,初步分析出其降噪机理是所掺加的橡胶粉改变了路面材料的力学特性,使得路面对振动的衰减能力增强,为今后路面的低噪声化研究做一些基础性的研究。

2 一般噪声机理

一般地,引发轮胎/路面噪声的基本机理是^[4,5]:空气泵吸(air pumping),轮胎振动(tire vibration)和空气动力学(aerodynamic)效应,而其中人们公认的是空气泵吸和轮胎振动效应。对于高速滚动的轮胎而言,这两种机理往往是同时并存的。

2.1 空气泵吸

当胎面与地面接触时,在径向、纵向和横向将产生压缩变形,使花纹沟容积减小,将沟内所含(或路面凹凸内)空气挤出。而当胎面离开地面时,沟部容积恢复,空气又流入沟内。

这种胎面花纹沟内或路面凹凸内的空气泵吸效应产生的不连续气流造成了压力波动,发出声音。

2.2 轮胎振动

轮胎滚动时,不连续的胎面花纹块撞击路面产生撞击噪声,不平路面撞击胎面引起的振动造成声辐射,胎面与地面之间的粘滑力使胎面花纹块产生切向振动,还有轮胎自身的不均匀性产生自激振而辐射噪声。

3 我们的实验研究

由于普通的 AC 路面, SMA 路面,以及加入不同橡胶粉配比的密实型低噪声路面,其表面纹理,空隙率都基本一致,所以由路面产生的对泵吸的破坏作用也是一致的。因此,为了研究密实型低噪声路面的降噪机理,我们做了吸声系数和动态复弹性模量的测量。

3.1 吸声系数测量

用驻波管法测量吸声系数,将路面做成直径为 10cm,厚度为 6cm 的圆柱形试块,置于驻波管的尾部,音频信号发生器带动扬声器,在驻波管内辐射平面波,当平面声波在管中前进并受到管的端面的反射时,会产生一反射的平面波,其方向与入射波相反,二者相互叠加后形成驻波,即在管内声场中存在固定的波腹和波节。波腹处的声压为极大值,波节处的声压为极小值,测出驻波的声压极大值和极小值就可以计算出垂直入射吸声系数^[6]。

公式如下:吸声系数

$$\alpha_0 = 4N/(N+1)^2$$

式中 N 是声压最大值与最小值之比, $N = P_{\max}/P_{\min}$;

P_{\max} 是压极大值

P_{\min} 是声压极小值

实验结果如图 1 所示:

图 1 中结果显示五种路面的法向吸声系数差别很小，基本上都没有达到 0.2，如果再排除实验中的不可避免的误差，无论是 AC 路面，SMA 路面，还是掺加不同比例的橡胶粉的低噪声路面，它们的吸声性能基本相同。

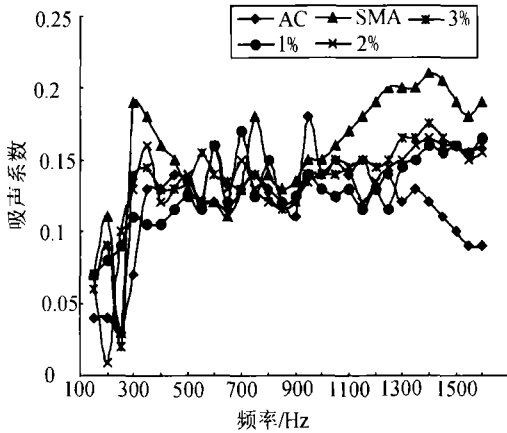


图 1 五种路面的法向吸声系数 (1%, 2%, 3% 代表橡胶粉含量)

3.2 复动态弹性模量的测量

复动态弹性模量的测量^[7,8]，用 MTS 测试系统进行，原理是测试路面材料在周期性重复荷载作用下所表现的应力应变幅值。复数模量即是两个最大幅值之比，即： $E^* = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_0}$ ，由于应力和应变之间存在相位差 ϕ ，所以复数模量可表示为：

$$E^* = E_1 + iE_2$$

实部 E_1 称为动力弹性模量，由于它反映形变过程中能量的贮藏与释放，所以又叫贮存弹性模量 (Storage Modulus)。虚部 E_2 反映形变过程中由于内部摩擦产生的以热的形式散失的能量，所以叫做损失弹性模量 (Loss Modulus)。

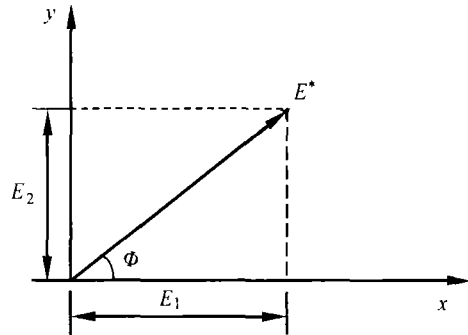


图 2 复数模量的实部和虚部

采用材料试验机 MTS810 做实验，试件尺寸为 $\phi 10 \times 10 \text{cm}$ ，测试温度为 20°C ，对试件施加半正弦连续荷载，最大轴向应力为 0.7MPa ，加载频率为 1Hz 、 10Hz 、 16Hz 三种，采集最后 5 个波形的荷载及变形曲线，记录并计算试件轴向可恢复变形、动态模量及相位角。实验仪器如图 3 所示。

实验中共测试了传统的 AC 路面，SMA 路面，以及橡胶粉含量不同的密实型低噪声路面，其含量从 $1\% \sim 3\%$ ，共 5 种不同路面。实验结果见表 1。

表 1 不同频率下的动态模量和相位角 (常温 20°C , 0.7MPa)

型号	1Hz		10Hz		16Hz	
	动态模量 (MPa)	相位角/°	动态模量 (MPa)	相位角/°	动态模量 (MPa)	相位角/°
AC	952	14.30	1003	8.79	1030.7	5.63
SMA	813.2	14.30	956.6	10.54	1008.1	8.40
密实型低噪声路, 橡胶粉含量1%	895.3	16.09	946.3	12.30	981	11.25
密实型低噪声路, 橡胶粉含量2%	800.1	17.87	892.8	14.07	952.3	13.52
密实型低噪声路, 橡胶粉含量3%	787	21.44	887	19.21	932	16.87

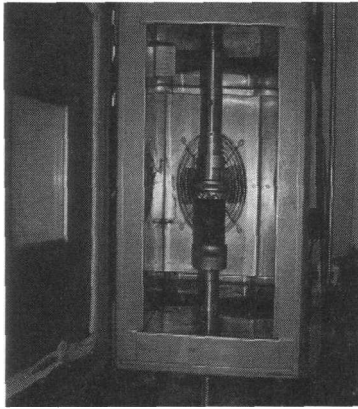


图3 MTS 测试系统

测试结果表明:

(1) 与传统的 AC 路面相比, SMA 路面和参照 SMA 配比掺入了橡胶粉的密实型低噪声路面的动态模量明显降低。

(2) 密实型低噪声路面的动态模量随着橡胶粉掺量的增加而减小, 相位角随着橡胶粉掺量的增加而增大, 掺加橡胶粉含量为 3% 的密实型低噪声路面的模量值最小, 相位角最大, 说明该路面对轮胎 / 路面的振动衰减能力最强, 减振降噪效果最好。

4 结论

综合以上对于 AC、SMA、不同橡胶粉

含量的密实型低噪声路面的实验研究, 得出: 与传统的多孔路面的降噪机理不同, 骨架密实型低噪声路面的降噪机理不是因为破坏泵吸效应的能力大, 也不是因为提高了路面材料的吸声性能, 而是由于所掺加的橡胶粉改变了路面材料的复动态模量的大小和相位角。橡胶粉含量为 3% 的密实型材料动态模量小相位角大, 减振降噪性能好, 并且路用性能也符合要求, 因而是优良的路面材料。

参 考 文 献

- [1] 伍石生. 比利时多孔沥青路面十年使用经验. 国外公路, 1999, 19(6): 21-24.
- [2] 吕伟民, 王佐民. 多孔性沥青路面声学特性的研究. 石油沥青, 1995, 9(3): 7-10.
- [3] G. L. Kennepohl, J. K. Davidson. Introduction of Stone Mastic Asphalt (SMA) in Ontario, AAPT, Michigan: Cushing-Ma lloy Inc, 1992, 517-534.
- [4] 庄继德. 汽车轮胎学, 北京: 北京理工大学出版社, 1995, 323-330.
- [5] M. Heckl. Tyre Noise Generation. Wear, 1986, 113: 157-170.
- [6] 倪乃琛, 沈保罗. 噪声和电声测试技术, 上海: 同济大学出版社, 1989, 102-118.
- [7] 王旭东, 沙爱民, 许志鸿. 沥青路面材料动力特性与动态参数, 北京: 人民交通出版社, 2002, 107-109.
- [8] 沈金安. 沥青及沥青混和料路用性能, 北京: 人民交通出版社, 2001, 454-458.