

一种路面吸声系数的现场测试方法

刘胜楠, 蔡俊, 王亚晨, 于晓娟, 刘玲

(上海交通大学环境科学与工程学院, 上海 200240)

摘要: 为了在不破坏路面结构的条件下得到路面的吸声性能, 解决工程建成后的验收和测试问题, 进行了阻抗管的结构改造, 并搭建了阻抗管路面测试系统; 以道路路面为研究主体, 研究了密封材料对测试结果的影响; 运用传递函数法原理现场测试路面的吸声系数, 通过比对现场实测结果与实验室路面样品测试结果, 评价阻抗管现场测试系统的可靠性和测试方法的可行性。研究结果表明, 用橡皮泥做密封材料时, 密封效果较好; 路面测试系统现场实测吸声系数曲线基本一致; 现场实测吸声系数与路面样品吸声系数差值不超过 0.04, 属于误差允许范围内, 两组吸声系数在 800 Hz 以上比较吻合, 差值小于 0.002, 在 250~630 Hz 范围内差值在 0.02~0.038 之间, 且在此频率范围内路面实测吸声系数低于实验室测试结果。

关键词: 道路工程; 现场测试方法; 阻抗管; 路面吸声系数; 密封材料

中图分类号: U416.06

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2015)-06-0535-05

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2015.06.013

A field test method of pavement absorption coefficient

LIU Sheng-nan, CAI Jun, WANG Ya-chen, YU Xiao-juan, LIU Ling

(School of Environmental Science and Technology, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In order to get the pavement sound absorption coefficient without damaging the pavement structure, and to solve the problem of acceptance and test after the completion of some projects, the impedance tube structure is remolded, and the impedance tube test system is constructed. In the test, the pavement is chosen as the research subject, the influence of sealing material on the test results is studied. The pavement sound absorption coefficient is tested according to the principle of the transfer function. Meanwhile, the feasibility of the measurement method and reliability of the measurement system with impedance tube was evaluated by comparing the field measurement results with the laboratory results. The study results show that there is good sealing effect when the silly putty is used as seal material. The field measured sound absorption coefficient curves look alike. The difference of field measured sound absorption coefficient with the sound absorption coefficient of the sample pavement is less than 0.04 which is in the range of acceptable error, and they match better at the frequency more than 800 Hz, where the difference is less than 0.002. In the 250-630 Hz frequency range 250-630 Hz, the sound absorption coefficient of field measurement is lower than that that tested in laboratory, and the difference is between 0.02~0.038.

Key words: road engineering; field test method; impedance tube; pavement sound absorption coefficient; sealing material

0 引言

噪声作为危害环境的四大污染之一, 对人们的工作学习和身心健康产生了严重的影响, 长时间暴露在噪声中会引起听力损伤、紧张焦虑、失眠等。交通工具运行产生的交通噪声对道旁的居民有很大的影响, 是干扰生活环境的重要噪声污染源, 全国有 70% 以上的居民生活在噪声超标的环境中, 且 2008 年我国就有不低于 10% 的城市道路交通噪声大

于 70 dB。且随着经济的快速发展, 车辆迅速增加, 交通噪声带来的危害也越严重。交通噪声的一个重要来源是轮胎噪声, 轮胎噪声是轮胎和地面摩擦时激振车体振动产生的噪声, 噪声大小与车速、路面材料的构造密切相关^[1-4]。因此近年来低噪声路面材料成为研究热点, 不断有新产品被投入使用。随着城市基础建设的加大投入, 国内越来越多的市政道路采用低噪声路面, 例如 SMA-13 阻尼沥青路面、SDQP 路面, 而工程建成后的验收和测试成为亟待解决的问题^[5-6]。关于路面吸声系数的测试, 国外已经开始了现场测试的研究应用, 国内多为混响室法和驻波比法等室内研究^[7], 本文将传递函数法理论用于路面吸声系数的现场测试中, 并搭建了相应的

收稿日期: 2015-01-05; 修回日期: 2015-04-20

作者简介: 刘胜楠(1990—), 女, 河南信阳人, 硕士研究生, 研究方向为噪声污染控制。

通讯作者: 蔡俊, E-mail: juncai@sjtu.edu.cn

测试系统,通过与实验室样品进行比较分析,证明了测试方法的可行性,从而在不破坏路面结构的条件下得到路面的吸声性能。

1 路面吸声原理分析

路面的吸声机理是,将路面看成一个具有刚性骨架的多孔型吸声材料,当声波入射到路面时,一部分声能进入到路面孔隙,导致孔隙中的空气受声波激励产生振动并散射声波,由于摩擦和粘滞阻力的作用,这部分声能转变为热能后被吸收和耗散^[8];还有一部分声能透射过路面结构进入道路基础,另一部分声能反射回空气中,如图1所示。

本次实验评价路面降噪性能的主要参数为吸声系数,即路面材料吸收的声能和入射到路面材料的总声能的比值^[9]:

$$\alpha = \frac{E_a}{E_i} = \frac{E_i - E_r}{E_i} \quad (1)$$

式中: α 为材料的吸声系数; E_a 为材料吸收的声能; E_i 为入射声波的总声能; E_r 为材料或结构反射的声能。

通常,路面的孔隙结构,如孔隙大小、孔隙率等对吸声系数有很大的影响^[10]。

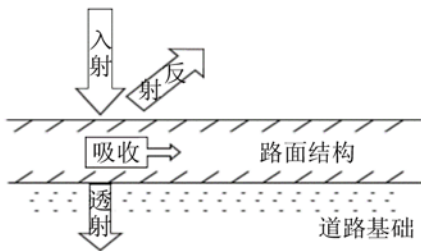


图1 声波入射到路面的声能分布

Fig.1 Sound energy distribution of the sound wave incident to the road

2 实验仪器与方法设计

2.1 实验仪器及测试原理

本次实验测试系统是基于北京声望声电技术有限公司生产的SW422型阻抗管进行改造的,实验室自行加工了10mm厚钢板以及密封基座。为避免管内声能的不必要损失,以及防止管外声波传进管内,阻抗管管壁材质要求坚硬,而且壁厚要达到内径尺寸的5%^[11]。SW422型阻抗管主管内径为100mm,由黑色硬质铝合金材料制成,且壁厚为7mm,满足上述要求。其吸声测试频率范围为63~1600Hz。测试时阻抗管垂直立在路面上,阻抗管靠近路面端连接两个声学传感器(声学精度I级),如图2



图2 加密封基座的阻抗管构造

Fig.2 Impedance tube structure with seal base

所示。

根据国家标准《声学阻抗管中吸声系数和声阻抗的测量(第2部分):传递函数法(GB/T 18696.2-2002)》,阻抗管的测试原理为通过测量两个固定位置的声压和计算两个通道的传递函数得到测试样品材料的吸声系数^[12],如图3所示。声源为顶部扬声器在阻抗管内模拟面声源。

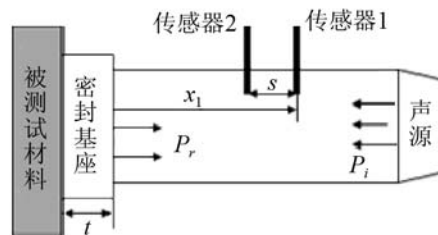


图3 测试系统结构内的声波传播

Fig.3 Acoustic wave propagation in the test system structure

两个传声器处的声压分别为 P_1 和 P_2 ,传感器1距密封基座距离为 x_1 ,密封基座高为 t 。

$$P_1 = P_i e^{jk(x_1+t)} + P_r e^{-jk(x_1+t)} \quad (2)$$

$$P_2 = P_i e^{jk(x_1-s+t)} + P_r e^{-jk(x_1-s+t)} \quad (3)$$

P_i 为基准面上入射声波的幅值, P_r 为基准面上反射声波的幅值, k 为复波数^[13]。

令传递函数为

$$H_{12} = P_2 / P_1 \quad (4)$$

入射波的传递函数为

$$H_i = e^{jks} \quad (5)$$

反射波的传递函数为

$$H_r = e^{-jks} \quad (6)$$

法向反射系数为

$$r = \frac{H_{12} - H_i}{H_r - H_{12}} e^{2jk(x_1+t)} \quad (7)$$

法向入射吸声系数为

$$\alpha = 1 - |r|^2 \quad (8)$$

当频率测试范围为 63~500 Hz 时, $s = 0.3 \text{ m}$, 测试范围为 250~1600 Hz 时, $s = 0.08 \text{ m}$ 。

从上述公式可知, 系统的改造只需调整距离系数, 就能得到与实验室测试一致的结果。

2.2 密封基座的设计

传统阻抗管开口端需进行密封基座改造, 以防止声能从管口与地面缝隙泄露。本实验中的密封基座是实验室自行加工的一个用于连结阻抗管与地面的设备, 采用高密度硬质铝合金加工而成, 其顶部外端加工成外螺纹状, 与阻抗管紧密连结, 内壁与阻抗管直径相同, 并配有橡胶密封圈, 以保证与阻抗管管体的密封; 底部有两个环形凹槽, 填入密封材料紧压后以保证与地面之间的良好密封。密封基座除了能紧贴路面, 构成一个完整的空气密闭结构, 还能为整个实验装置提供支撑。图 4 显示了密封基座构造, 密封基座的螺纹是为了更好地固定阻抗管。表 1 列出了密封基座的基本参数。



图 4 密封基座构造
Fig.4 Structure of the seal base

表 1 密封基座基本参数
Table 1 Basic parameters of the seal base

| 高/cm | 内径/cm | 外径/cm | 密封槽直径/mm |
|------|-------|-------|----------|
| 5 | 10 | 16 | 3 |

2.3 密封材料的选择

为保证完全密封, 密封基座与路面之间必须使用足够的密封材料, 但密封材料过多则会挤压进阻抗管内壁上, 造成实验结果偏差。因此, 每次实验前, 实验人员都需除去挤进阻抗管内的密封材料。不同的密封材料密封效果不同, 为了验证密封材料的性能, 选取了凡士林、浆糊、橡皮泥、油泥四种密封材料做了一组对比实验, 密封材料样品如图 5 所示。研究使用不同的密封材料分别进行阻抗管路面吸声系数的测试, 测试结果如图 6 所示。实验结果表明, 用凡士林、浆糊、油泥做密封材料时, 路面吸声系数均出现不同程度负值, 这说明密

封效果不好, 有一部分外部声能进入阻抗管, 导致反射声能大于入射声能。而采用橡皮泥密封时, 路面吸声系数没有负值, 表明密封效果良好。因此, 后续实验采用橡皮泥做密封材料。

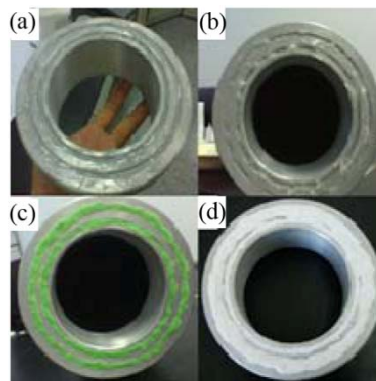


图 5 四种密封材料 (a)凡士林 (b)浆糊 (c)橡皮泥 (d)油泥
Fig.5 Four kinds of sealing materials: (a) Vaseline (b) paste (c) silly putty (d) oil sludge

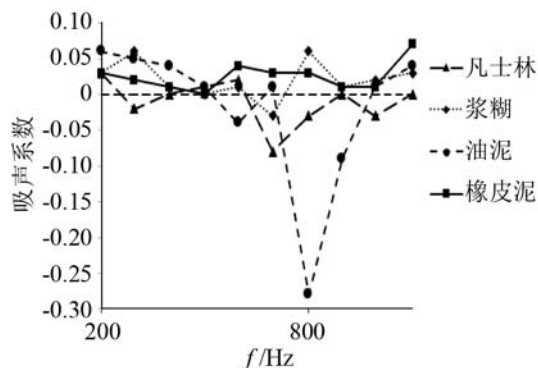


图 6 不同密封材料下的路面吸声系数
Fig.6 Sound absorption coefficients of the pavements with different sealing materials

2.4 阻抗管现场测试方法

目前, 国际上使用的路面吸声系数的直接测试标准: ISO 13472-2, 这种测试方法覆盖的频率范围为 63~1800 Hz, 基本覆盖了 1/3 倍频程的频率范围 (250 Hz~2 kHz)^[14]。阻抗管现场测试系统示意图如图 7 所示。测试步骤如下, 首先选取一段平整的路面, 在路面上标定测试点, 清除测点地面孔隙中的小石子与灰尘, 便于实验密封。考虑到路面平均吸声系数较低, 一般小于 0.15, 因此需要对阻抗管的内部声强损失进行校正。校正方法为, 将阻抗管垂直放在光滑平坦、厚度至少为 10 mm 的钢板上,

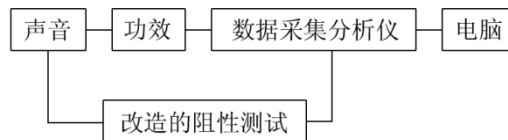


图 7 现场测试系统
Fig.7 Field test system

测试钢板的吸声系数,然后将先前测得的路面吸声系数减去钢板的吸声系数即为校正后的路面吸声系数^[15]。为减小误差,本实验多次测量吸声系数求平均值。

3 实验结果与分析

本次实验测试对象为常用水泥路面,选取了相距 5 m 的两处水泥路面进行实地测试,测试结果如图 8 所示,测点 1-1, 1-2 分别表示在测试点 1 处的两次测试结果,测点 2-1, 2-2 分别表示在测点 2 处的两次测试结果。结果表明,同等路面条件下测得的吸声系数曲线基本重合,测试稳定性较高,证明阻抗管路面吸声测试方法具有可靠性。通过打孔机钻取测试点 100 mm 厚路面样品带回实验室进行阻抗管吸声系数测试,同时通过空管测试及标准样品测试进行相应的测量校准。取出的路面样品如图 9 所示。

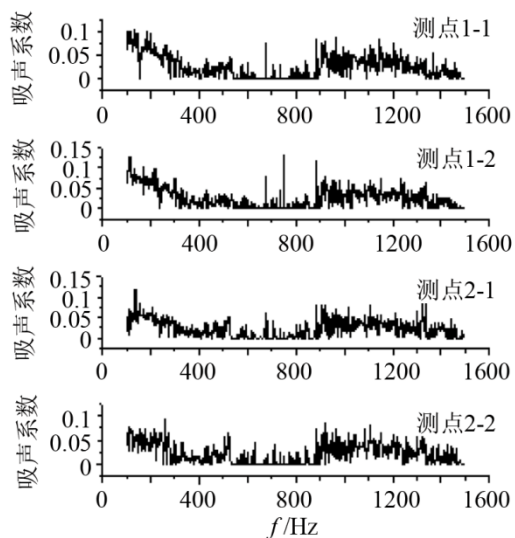


图 8 路面吸声系数现场测试结果

Fig.8 Field tested results of pavement sound absorption coefficient



图 9 路面样品

Fig.9 Pavement samples

阻抗管现场实测结果与实验室样品测试结果的比较见图 10。

结果表明,两者吸声系数的峰值均出现在 500

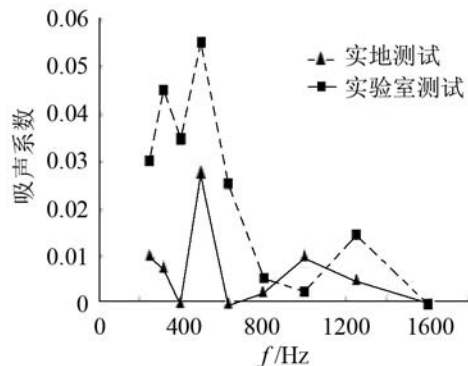


图 10 样品与实测吸声系数平均值的比较

Fig.10 Average sound absorption coefficient contrast between sample and field tests

Hz, 峰值相差 0.027。两者吸声系数的差值小于 0.04, 小于测试允许误差。两者吸声系数在 800 Hz 以上比较吻合, 差值小于 0.02; 在 250~630 Hz 频率范围内差值在 0.02~0.038 之间, 且路面实测吸声系数低于实验室测试结果。经研究分析, 现场实测时, 由于周边中低频振动可通过地面传递、空气辐射进入阻抗管内部, 导致该频段反射声能增加, 根据公式(1), 实测吸声系数在该频段范围内偏低。

4 结语

(1) 方便快捷地评价路面噪声是低噪声路面研究的重要问题之一, 本文基于传递函数法原理, 搭建了一套实地测试路面吸声系数的阻抗管测试系统, 提出了阻抗管适用于路面吸声的改造结构, 可在不破坏路面结构的条件下得到路面的吸声系数, 为今后工程的实际应用提供了理论和实验支持。

(2) 本文讨论了不同密封材料对实验结果的影响, 测试结果表明, 使用橡皮泥密封时, 路面吸声系数无负值, 表明橡皮泥密封效果良好。

(3) 为验证该测试方法的可行性和测试系统的可靠性, 本文基于对两个地点的现场实测, 发现同等路面条件下测得的吸声系数曲线基本重合, 测试稳定性较高, 证明阻抗管路面吸声测试方法具有可靠性最佳。由此可知这套测试系统对于大面积路面在原理上可行, 在实际应用中简便易操作。

(4) 为验证该测试方法的准确性, 本文做了几组对比测试, 发现路面实测结果与样品测试结果差值小于 0.04, 小于测试允许误差。两者在 800 Hz 以上高度吻合, 差值小于 0.002; 在 250~630 Hz 范围内差值在 0.02~0.038 之间, 且路面实测结果低于实验室测试结果。这是由于周围环境振动可通过地面传递, 导致中低频段反射声能增加, 造成现场实

测吸声系数偏小。因此本测试方法如何提高在中低频区域的测试精度值得进一步深入研究。

参 考 文 献

- [1] 蔡铭, 王海波, 余志, 等. 基于微观交通仿真的居住小区道路交通噪声研究[J]. 振动与冲击, 2013, 32(24): 48-55.
CAI Ming, WANG Haibo, YU Zhi, et al. Road traffic noise study for a house community based on microscopic traffic simulation[J]. Journal of Vibration and Shock, 2013, 32(24): 48-55.
- [2] 马惠, 籍仙蓉, 矢野隆, 等. 城市居民对环境噪声群体性反应的研究[J]. 声学学报, 2008, 33(3): 275-282.
MA Hui, JI Xianrong, Takashi Yano, et al. Analysis of community response to noise in Chinese city[J]. Acta Acustica, 2008, 33(3): 275-282.
- [3] 张开冉, 李国芳. 城市道路交通噪声影响模糊评价[J]. 中国公路学报, 2003, 16(4): 91-93.
ZHANG Kairan, LI Guofang. Assessment of urban road traffic noise based on multi-level fuzzy[J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(4): 91-93.
- [4] 刘亚敏, 韩森, 陶志金, 等. 不同纹理混凝土路面的噪声特性[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2012, 32(4): 16-20.
LIU Yamin, HAN Sen, TAO Zhijin, et al. Noise evaluation of concrete pavements with different texture[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2012, 32(4): 16-20.
- [5] 曹卫东, 杨永顺, 吕伟民, 等. 骨架密实型低噪声路面的声振特性[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(2): 55-58.
CAO Weidong, YANG Yongshun, LÜ Weimin, et al. Properties of acoustics and vibration of skeleton dense quiet pavement[J]. Journal of Traffic and transportation Engineering, 2007, 7(2): 55-58.
- [6] 韩森, 董雨明, 陈海峰, 等. 露石水泥混凝土路面降噪特性[J]. 交通运输工程学报, 2005, 5(2): 32-34.
HAN Sen, DONG Yuming, CHEN Haifeng, et al. Noise reduction performance of exposed-aggregate cement concrete pavement [J]. Journal of Traffic and transportation Engineering, 2005, 5(2): 32-34.
- [7] 匡正, 叶超, 吴鸣, 等. 一种现场测量材料吸声特性的新方法[J]. 声学学报, 2010, 35(2): 162-168.
KUANG Zheng, YE Chao, WU Ming, et al. Method for measuring the absorption coefficient of sound absorbing materials in situ[J]. Acta Acustica, 2010, 35(2): 162-168.
- [8] 丁庆军, 沈凡, 刘新权, 等. 透水型沥青路面材料的降噪性能[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2010, 30(2): 24-28.
DING Qingjun, SHEN Fan, LIU Xinquan, et al. Noise-damping performance of draining asphalt pavement[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2010, 30(2): 24-28.
- [9] 蔡俊. 噪声污染控制工程[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
CAI Jun. Noise pollution control engineering[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 2011.
- [10] 张金喜, 孔静静, 黄颂昌, 等. 不同类型沥青路面吸声性能及机理的实验研究[J]. 北京工业大学学报, 2010, 36(8): 1084-1090.
ZHANG Jinxi, KONG Jingjing, HUANG Songchang, et al. Experimental study on sound absorption of asphalt pavement with different types[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2010, 36(8): 1084-1090.
- [11] SEYBERT A F, HAN J. Measurement of Pavement Absorption Using ISO 13472-2[J]. Journal of the Acoustical Society of America, 2008, 123(5): 3686.
- [12] 全国声学标准化技术委员会声学基础分委会. GB/T 18696.2-2002 声学 阻抗管中吸声系数和声阻抗的测量 第2部分: 传递函数法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
NATIONAL Acoustic Standardization Technical Committee Acoustic Foundation Branch. GB/T 18696.2-2002 Acoustics-determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes-Part 2: Transfer function method[S]. Beijing: China Standard Press, 2007.
- [13] 袁健, 林胜, 贺才春, 等. 阻抗管中吸声系数的传递函数测量法[J]. 噪声与振动控制, 2006, 26(1): 68-70.
YUAN Jian, LIN Sheng, HE Caichun, et al. Transfer function method of sound absorption coefficient in impedance tubes[J]. Noise and Vibration Control, 2006, 26(1): 68-70.
- [14] SOHANEY R, RASMUSSEN R, SEYBERT A, et al. New ISO test track specification for measuring tire and vehicle noise[J]. Sound and Vibration, 2012, 46(8): 9.
- [15] KUMAR A, MONDAL P, VIJAY P, et al. Comparative study of sound absorption coefficients on different types of road surfaces using non-destructive method as per ISO 13472-2: 2010[J]. Physical Review & Research International, 2011, 1(2): 45-56.