

文章编号:1006-1355(2015)04-0179-04+223

基于混响室—半消声室的V型声屏障 隔声测试与分析

张学飞¹, 李 晔¹, 王瑞乾¹, 吴 冬², 徐 磊¹

(1. 常州大学 城市轨道交通学院, 江苏 常州 213164;

2. 常州西南交通大学 轨道交通研究院, 江苏 常州 213164)

摘要:首先以匀质铁板为例,利用混响室—半消声室法进行频率隔声特性的测试,并将测试结果与混响室—混响室隔声测试结果进行对比分析;然后,基于半消声室模拟半无限声场的特性,在混响室—半消声室环境下分别对V型声屏障进行表面声透射及声传播指向性识别。结果表明,混响室—半消声室法频率隔声特性测试结果与半消声室一侧的测点位置有关,当测点位置较为合适时,能够与混响室—混响室法测试结果较好的吻合;混响室—半消声室法能够识别样件的表面声透射特性及声传播指向特性,从而为找到其隔声薄弱环节以及声音透过样件后的传播和衰减规律提供更加直观的数据参考,对进一步提高其隔声性能并改善声场环境具有指导意义。

关键词:声学;混响室—半消声室;隔声;表面声透射;声传播指向性

中图分类号:U270.1*6

文献标识码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2015.04.039

Sound Insulation Test and Analysis of a V-Type Sound Barrier Based on the Method of Reverberation Room and Semi-anechoic Room

ZHANG Xue-fei¹, LI Yie¹, WANG Rui-qian¹, WU Dong², XU Lei¹

(1. School of Urban Rail Transit, Changzhou University, Changzhou 213164, Jiangsu China;

2. Railroad Transport Institute Changzhou Southwest Jiaotong University,
Changzhou 213164, Jiangsu China)

Abstract: The sound insulation effect of an isotropic iron plate was measured based on the approach of reverberation room and semi-anechoic room, and the result was compared with the method based on reverberation room and reverberation room. Then, based on the semi-infinite sound field characteristics of the semi-anechoic room, the surface sound transmission and the directivity of sound propagation of a V-type sound barrier were recognized. It is concluded that the sound reduction result of the plate tested by the approach of reverberation room and semi-anechoic room is related to the position of measurement points. If the measurement points are properly distributed, the sound reduction result can agree well with that tested by the method of reverberation room and reverberation room. The test method of reverberation room and semi-anechoic room can identify the characteristics of the surface sound transmission and the directivity of sound propagation, so as to provide more visual data references to recognize the portions with lower sound insulation effect and the sound propagation and reduction laws after the sound has passed the material. This work is helpful to promote the sound insulation of the material and improve the sound field environment.

Key words: acoustics ; reverberation room ; semi-anechoic room ; sound insulation ; surface sound transmission ; sound propagation directivity

收稿日期:2014-12-08

作者简介:张学飞(1965—),男,江苏丹阳人,教授,目前从事
轨道车辆及机械制造方面研究。

E-mail: zxfzxf1989@sina.com

通讯作者:王瑞乾(1988—),男,河北保定人,讲师。

E-mail: ruiquanwang@163.com

混响室和半消声室是声学实验室中两个最基本的声学试验环境。它们可以被单独使用或者组合使用,并实现不同的声学测试功能。

隔声测试是声学实验室最主要的测试功能之一。为了得到隔声性能更加优异的材料,往往要对

材料进行隔声测试,帮助研究人员了解材料的隔声特性并有针对性地提出改善措施。实验室隔声测试方法一般以混响室/混响室法为主,混响室/半消声室法应用较少,且在国内还没有相关测试规范。潘凯等^[1]利用统计能量法及声辐射理论,对混响室—混响室法和混响室—半消声室法做了仿真对比,比较了各自的优缺点;徐贝贝等^[2]分别从仿真和试验的角度,对混响室/混响室法及阻抗管法进行了介绍和对比分析,指出两种方法的异同及适用性范围。

然而,之前的研究大多集中于材料在不同频率下的隔声特性^[3-5],是一种整体的研究,更加适用于分析两个封闭声腔之间的声传播规律;而对材料表面声透射特性及声传播指向性的研究却鲜有涉及,这是较为细化的研究。首先,材料表面不同部位的声透射情况不同,尤其对于非匀质隔声样件,其表面声透射特性随着面密度、结构特征、阻尼分布等参数的变化而变化,而声透射量较大区域的存在会严重降低材料的隔声性能,因此,研究材料的表面声透射特性,能够帮助找到其隔声薄弱环节,从而针对性地提出改进措施;再者,声音在透过样件后,会沿着不同方向继续传播,且根据样件结构型式不同,声能量随传播距离的衰减规律也不相同。因此,研究声音透过样件后的传播特性,可以为进一步改善接收室一侧的声场环境提供直观的数据参考。

对于传统的混响室/混响室隔声测试方法,由于其接收室是混响室,声音在室内经过多次反射并互相干扰,达到稳定后的各处声压分布是均匀的,差异很小,因而无法测得材料的表面声透射及声传播指向特性。考虑到半消声室是模拟半无限声场的声学环境,声音透过样件进入半消声室,传播到吸声尖劈后被吸收而没有反射干扰,声音在传播方向上的任意一点只经过一次,因此,可以在混响室/半消声室的环境中进行材料表面声透射及声传播指向特性的试验。

本文首先以1.5 mm厚匀质铁板为例,对混响室/半消声室隔声测试方法进行介绍,并比较其测试结果与混响室/混响室法测试结果的差异与联系;接着,以高速铁路V型声屏障为对象,对混响室/半消声室法在材料表面声透射及声传播指向性测试方面的适用性展开进一步论述。

1 混响室—半消声室法隔声特性测试

为评价混响室/半消声室法在频率隔声特性测试方面的适用性,现以1.5 mm厚度匀质铁板为被测样件,以国际自动机工程师学会标准SAEJ1400为测试依据,展开1/3倍频程隔声特性的试验,测试中心

频率为100 Hz~3150 Hz。

1.1 测试方法介绍

依照SAEJ 1400测试标准,需分别对1.5 mm厚铁板和PV板进行平均降噪量测试,PV板为1 mm厚高分子隔音毡,作为参照样件,用于测定铁板隔声量的修正系数。测试步骤如下:

1) 在测试洞口安装铁板,分别测得声源室和接收室的平均声压级 L_1 和 L_2 ,测试现场如图1所示,将声压级测试结果代入式(1),可得到铁板的平均降噪量MNR;



(a) 声源室一侧

(b) 接收室一侧

图1 混响室/半消声室法隔声测试现场

$$MNR = L_1 - L_2 \quad (1)$$

2) 在测试洞口安装PV板,以同样方法测得PV板的平均降噪量MNR';

3) 由式(2),计算得到PV板理论隔声量STL'为

$$STL' = -0.192 + 10 \lg \left[\frac{\beta^2}{\ln \left(\frac{\beta^2 + 1}{0.043227\beta^2 + 1} \right)} \right] \quad (2)$$

式中 $\beta = \frac{\rho_s \omega}{2\rho_0 c_0}$; $\omega = 2\pi f$; f 为1/3倍频程频率,单位Hz; ρ_s 为参照样件的表面密度,单位 kg/m^2 ; ρ_0 为测试时空气的体积密度,单位 kg/m^3 ; c_0 为测试时声音在空气中的速度,单位 m/s ;

4) 将PV板平均降噪量及理论隔声量代入式(3),得到修正系数CF为

$$CF = MNR' - STL' \quad (3)$$

5) 将铁板平均降噪量及修正系数代入式(4),得到铁板隔声量为

$$STL = MNR - CF \quad (4)$$

1.2 测试结果分析评价

由于声音透过样件后的传播是随着距离的增大而逐渐衰减的,因而当接收室一侧的测点位置变化时,测到的隔声特性并不相同。而在标准SAE J 1400中,并未规定接收室一侧的测点位置,这是由于不同的半消声室参数不同,因而使得混响室—半消声室法测试结果与混响室—混响室法测试结果最为相近的最佳测点位置也不尽相同,该位置的选择通

常与实验室尺寸、自由场半径等参数息息相关。若从理论上进行分析和论证,除了准确建模外,还需将实验室各参数考虑进去,存在一定难度,因此通常采用试验方法确定。对上述1.5 mm厚匀质铁板的测试中,在接收室一侧分别量取距离洞口1.0 m、1.1 m、1.2 m、1.3 m、1.4 m和1.5 m共六个位置放置测点,并分别在这些测点测试铁板的频率隔声特性。接着,依据国标GB/T 19889-2005对以铁板以混响室/混响室法进行隔声测试。再根据国标GB/T 50121-2005,计算所有工况的计权隔声量 R_w ,作为其隔声性能的单值评价量。图2给出了两种隔声方法的频率隔声特性测试结果的对比。

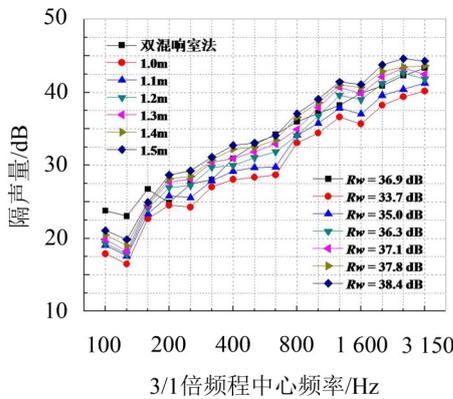


图2 两种测试方法下的铁板隔声特性曲线

由图2可见,随着测点与洞口距离的增大,频率隔声曲线呈现近似平行上移趋势,即测点位置距离洞口越远,铁板隔声量测试结果越大。其中,当测点位置位于距离洞口1.3 m时,其测试结果与混响室一混响室法测试结果最为接近,在160 Hz及以上频段差距1 dB~2 dB,仅在100 Hz和125 Hz两个频段相差较大,为4 dB左右,整体上,其计权隔声量 R_w 仅相差0.2 dB。

因此,混响室/半消声室法测试材料频率隔声特性是可行的,当测点位置合适时,其与混响室/混响室法测试结果可以较好地吻合。

2 V型声屏障表面声透射识别

高速铁路V型声屏障是一种新型减载式声屏障,其开孔率较大,便于缓解列车高速通过时声屏障的表面脉动风压,利于延长使用寿命^[6]。图3给出了V型声屏障截面图,可以看到其单元构件是填充了玻璃丝绵吸声材料的倒V字型铝壳腔体,相邻两个单元之间为空气层;声屏障上、下端为直型腔体,内填充铝纤维吸声材料,两侧夹以穿孔铝板。

图4给出了混响室/半消声室法对V型声屏障进行隔声测试的结果。由图4可见,在250 Hz以下,V

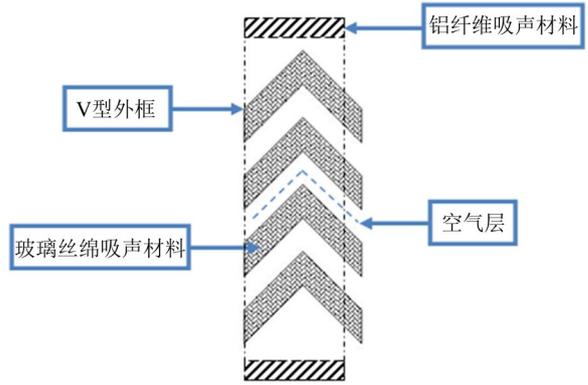


图3 高速铁路V型声屏障截面图

型声屏障的隔声量不超过5 dB,315 Hz~1 000 Hz,随着频率的增大,隔声量有所提升,1 250 Hz以上,隔声量有略微下降。整体上,其计权隔声量 R_w 较低,仅为15.1 dB,可以看到其不利偏差主要出现在中高频段,推测其主要原因是较大的开孔率不利于材料隔声性能的提升。

大开孔率会造成V型声屏障表面的声透射量较大,同时由于结构的复杂性,其表面各部位的声透射量不尽相同。为了研究V型声屏障表面声透射特性,识别隔声薄弱环节,现在混响室一半消声室环境下对其进行表面声透射特性测试。

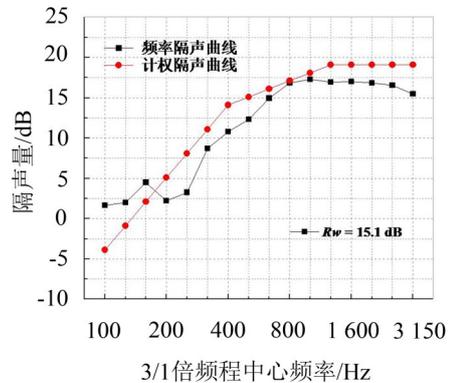


图4 V型声屏障频率隔声特性曲线

测试时,在半消声室一侧贴近样件表面位置布置传声器,对样件表面透射声压级分布进行扫描测试。图5(a)、(b)分别给出了声源室和接收室的测点布置情况,其中声源室均匀布置无规则指向的六个传声器,由于采集通道数量限制,接收室也只采用六个传声器,首先从试件下半部分开始,由左端向右端对其表面透射声压级进行扫描测试,每隔0.1 m测试一次,共测试11次;之后以同样方法测试试件上半部分表面透射声压级,图中箭头所示为传声器在测试中所扫描的路径。

图6给出了V型声屏障表面声压级测试云图。由云图可见,样件上端和下端透射声压级最大,而中

间较小,这说明声屏障的上、下端是声透射最严重的区域。结合截面图可知,造成该现象的原因可能在于声屏障上、下端为填充了铝纤维吸声材料的直型腔体结构:首先,相对于倒V字型腔体,直型腔体结构形式简单,隔声层面较少,不利于声传播的衰减,使得声音更加便于由声源室向接收室传播;另外,铝纤维属于金属吸声材料,相对于玻璃棉而言,其吸声特性较差。



(a) 声源室一侧 (b)接收室一侧

图5 V型声屏障表面声透射测试现场

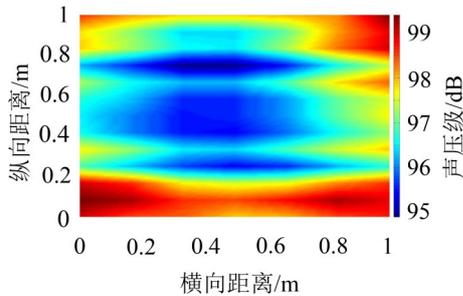


图6 V型声屏障表面透射声压级

该识别结果可为提出隔声改进方案提供借鉴,一方面,可从结构入手,在减载要求范围内对声屏障上、下端进行封堵,例如将两侧穿孔铝板改为实心铝板;或者增加直型腔体内部隔声层面,例如添加多层金属挡板,或在腔体内部设置“迷宫式”结构排布吸声材料;另一方面,可将直型腔体内铝纤维换成吸声特性更好的吸声材料,例如采用多层面复合吸声材料。

3 V型声屏障声传播指向性识别

高速铁路沿线声场环境对周边居民生活影响巨大。GB 3096-2008 明确规定了铁路沿线敏感区域的噪声限值,因此,声屏障的设立务必使敏感区域的噪声低于限值要求。而声屏障结构形式的区别以及填充材料的差异,使得声音透过声屏障后的传播路径及衰减规律也不尽相同,从而造成敏感区域噪声水平的不同。为了预测降噪效果及优化声学性能,同时降低研发成本,可先在混响室/半消声室环境中对声屏障进行声传播指向性的识别试验,以获悉声音透过声屏障后的传播及衰减规律,从而预测敏感区域的噪声水平。

图7给出了V型声屏障声传播指向性的测点布置,声源室不做改变,在接收室一侧正对声屏障中心布置三脚架,并在三脚架1 m~3 m高度方向上均匀布置6个传声器,分别以0.5 m为间隔量取距离洞口1.5 m~7m范围内共计12个测试位点,三脚架每移动一个位点,测试该位点6个传声器位置的声压级大小,测试中一共测得72个声压级结果,图8给出了利用这些结果得到的声传播指向性云图。由云图可见,声源室噪声透过V型声屏障后,向半消声室内圆弧式传播,随着距离的增加,声压级以递减的衰减率逐渐降低。图9给出了1.5 m高水平方向上的声压级衰减情况,可见该衰减关系近似于抛物线,由此可得拟合曲线方程为

$$Y = 0.148X^2 - 3.881X + 89.886 \quad (5)$$

以上识别结果及曲线方程可为进一步预测敏感区域的噪声水平提供参考。

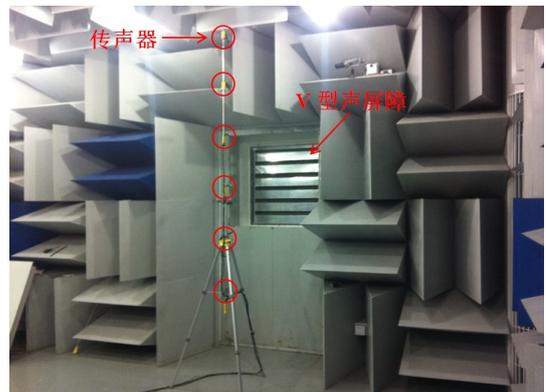


图7 V型声屏障声传播指向性测点布置

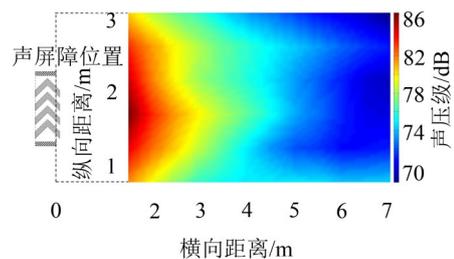


图8 V型声屏障声传播指向性识别结果

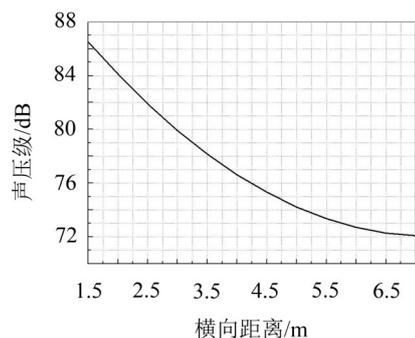


图9 1.5 m高水平方向上声压级衰减规律

(下转第223页)