

文章编号:2095-0411(2016)03-0079-04

## 喷涂阻尼浆对地铁车辆地板铝型材隔声性能影响研究

张学飞,孔令行,王瑞乾,李 晔,徐 磊  
(常州大学 城市轨道交通研究院,江苏 常州 213164)

**摘要:**提高地铁车辆地板铝型材的隔声性能,是有效控制其车内噪声的重要途径之一。以国内某常见地铁车辆地板铝型材为研究对象,利用混响室—混响室的隔声试验方法,以计权隔声量和隔声效率为评价指标,探究了喷涂阻尼浆对地板铝型材隔声特性的影响规律,结合仿真分析,深入探究了喷涂 4、6、8mm 厚度的阻尼浆对铝型材隔声特性的影响规律。结果表明,喷涂阻尼浆可达到提高地铁车辆地板铝型材隔声性能的目的,且主要提高了中高频隔声量,随着阻尼浆厚度的增加,其计权隔声量增加量呈现逐渐减小的趋势,隔声效率逐渐降低。该研究结果可为地铁车辆地板结构隔声性能的改善提供数据支持和选材依据。

**关键词:**地铁车辆;地板铝型材;隔声;喷涂阻尼浆;隔声效率

中图分类号:U 231

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2016.03.016

## Study on the Effect of Spraying Damping Slurry on the Sound Insulation Properties of the Floor Aluminium Profile of the Metro Vehicles

ZHANG Xuefei, KONG Lingxing, WANG Ruiqian, LI Ye, XU Lei

(Research Institute of Urban Rail Transit, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

**Abstract:** Improving the sound insulation property of the aluminium profile is an important way to control the noise in the metro carriages. Taking a common domestic metro vehicle aluminium floor for the study, using reverberation-reverberation chamber as sound insulation test method and weighted sound reduction and sound insulation efficiency as evaluation index, the characteristics influencing the plasma spraying damping aluminium floor insulation was explored. Combined with the simulation analysis, the influence of 4 mm, 6mm and 8mm thickness damping pulp on the sound insulation characteristics of aluminum profile is studied. The results show that spraying damping slurry can achieve the purpose of improving the sound insulation property of the floor of the metro vehicles, and the main increase of the medium and high frequency sound insulation, but with the increase of the thickness of the slurry, the increase of the weight loss is gradually reduced, and the sound insulation efficiency is gradually reduced. The results of this study can provide data support and material basis for improving the sound insulation performance of metro vehicles.

**Key words:** metro vehicle; floor aluminium profile; sound insulation; spray damping slurry; sound insulation efficiency

收稿日期:2015-12-16。

基金项目:中国中车唐山轨道客车有限公司资助项目(KYH16020061)。

作者简介:张学飞(1965—),男,江苏丹阳人,硕士,教授级高工,主要从事轨道交通车辆制造及机械制造方面研究。

地铁车辆在解决城市拥堵、推进城市可持续发展的过程中发挥了极为重要的作用。然而,在人们享受方便、快捷的同时,却又不得不忍受其带来的噪声污染。研究表明,地铁车辆车内噪声主要分为轮轨噪声、气动噪声、电网噪声等<sup>[1-2]</sup>。其中,在运行速度较低时,轮轨噪声为铁路噪声的主要来源<sup>[3]</sup>,为减弱轮轨噪声对车内声场环境的影响,除了降低车轮、钢轨等噪声源的声辐射水平<sup>[4-6]</sup>,还可以从传播途径入手,增加车体地板结构的隔声量,从而在一定程度上阻止轮轨区域噪声向车内的传播<sup>[7-8]</sup>。

典型的地铁车辆车体地板结构从下到上主要包括铝型材、防寒材复合层和内地板 3 个部分,而铝型材在体积、质量上都占据了整个地板结构的近 50% 的比重,甚至更多,因此,重点对地板铝型材进行降

噪技术的研究,是提高整个地板结构隔声水平的有效举措。本文采用试验方法,并结合仿真分析,探究了喷涂阻尼浆这种可行方式对地板铝型材隔声特性的影响规律,为进一步提高地板结构隔声水平提供数据参考,具有工程借鉴意义。

## 1 双混响室隔声测试方法

双混响室法是目前最常用的隔声测试方法之一,由声源室和接收室组成。依据国家标准 GB/T 19889.3—2005《建筑和建筑构件隔声测量第 3 部分:建筑构件空气声隔声的实验室测量》,将试件置于测试洞口内,用螺栓将试件固定牢靠后,周边用密封胶密封。测试现场如图 1 所示。

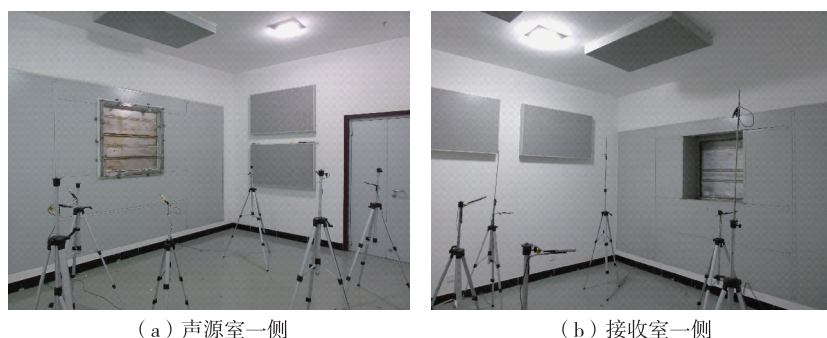


图 1 混响室-混响室法隔声测试现场

Fig.1 Sound insulation test site in reverberation-reverberation chamber

分别于声源室和接收室测得 1/3 倍频程内各频带的平均声压级分别为  $L_1$  和  $L_2$ ,测试中心频率为 100~3 150 Hz;所得到的声压级代入式(1),可求得试件各频带的隔声量。

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{St}{0.16V} \quad (1)$$

式中: $R$  为隔声量, dB;  $L_1$  为声源室内平均声压级, dB;  $L_2$  为接收室内平均声压级, dB;  $S$  为试件表面积,  $m^2$ ;  $t$  为接收室内混响时间, s;  $V$  为接收室的容积,  $m^3$ 。

## 2 材料隔声性能评价方法

### 2.1 计权隔声量评价方法

工程上,通常以计权隔声量  $R_w$  作为被测试件隔声量的单值评价标准。根据国家标准 GB/T 50121—2005《建筑隔声评价标准》,将已测隔声构件在 1/3 倍频程下的隔声曲线与规定的参考曲线进行比较,从而得到试件的计权隔声曲线,该曲线在

500 Hz 频率下的隔声量即作为计权隔声量  $R_w$ 。

### 2.2 隔声效率评价方法

质量定律是隔声的重要定律之一<sup>[9]</sup>。附加阻尼,填充吸声材料等都会引起样件面密度的增加,从而使其隔声量有整体的提升,一般来说,面密度越大,隔声量的提升量越大。但由于不同降噪材料的属性不同,在特定的使用环境下,其减振降噪能力有强弱之分,因此,为了更客观的评价不同材料的隔声降噪效果,本文参考汽车噪声控制中的降噪效率的概念<sup>[10]</sup>,提出隔声效率这一评价指标。隔声效率,是指单位质量提升量下的计权隔声量增加值,见式(2)。

$$\eta = \frac{\Delta R_w}{\Delta m} \quad (2)$$

式中:  $\eta$  为隔声效率;  $\Delta R_w$  为计权隔声量增加量, dB;  $\Delta m$  为样件的质量增加量, kg。

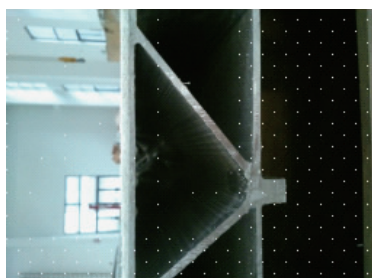
### 3 地板铝型材隔声测试及结果分析

#### 3.1 隔声测试工况设置

以铝型材裸板为测试对象,质量 30.2kg,再以喷涂 2mm 阻尼浆的铝型材为测试对象,质量 33.4kg。图 2 给出了喷涂阻尼浆地板铝型材截面照。



(a) 铝型材裸板



(b) 喷涂2 mm阻尼浆

图2 铝型材地板和喷涂 2 mm 阻尼浆的地板铝型材

Fig.2 Aluminum floor and floor aluminum with spraying 2mm damping pulp

#### 3.2 隔声测试结果及分析

图 3 给出了喷涂阻尼浆对地板铝型材隔声特性的影响结果。由图 3 见,在 100~400Hz 低频段,两条曲线随质量的增加而呈现由低到高平行排列,相邻曲线间相距约 0.9 dB,按照质量定律,喷涂阻尼浆引起的质量增加对隔声量增加量的贡献应为 0.7~1.1dB,可见 2 个样件在此频段的关系基本符合质量定律。在 500~3150Hz,2 条曲线之间的差距变大,而质量定律的影响已经相对很小,故阻尼浆对于地板铝型材中高频隔声量的提升效果较明显。2mm 阻尼浆使地板铝型材的计权隔声量增加 4.5dB,从隔声效率来看,相比地板铝型材裸板,2mm 阻尼浆为 2.0dB/kg。可见,喷涂阻尼浆对于隔声量的提升效果比较显著。

为进一步探究阻尼层厚度对铝型材隔声特性的影响,下面利用 VA One 建立相应的铝型材隔声预测模型,并施加不同厚度的阻尼层,计算并分析其对于铝型材隔声特性的影响规律。

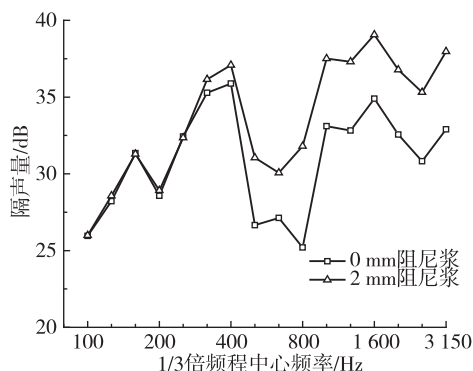


图3 喷涂阻尼浆对地板铝型材隔声特性的影响

Fig.3 Effect of spraying damping slurry on the sound insulation properties of aluminum profile

### 4 预测模型和模型验证

本文采用统计能量法,基于 VA ONE 软件分析平台,建立了由阻尼浆和铝板组成的层状复合板结构隔声特性预测分析模型,如图 4 所示。对铝型材裸板和喷涂了 2mm 阻尼浆的铝型材在 100~3150 Hz 频率范围内的频率隔声量进行计算,然后将计算值与其试验值作比较,如图 5 所示。结果表明,仿真与试验结果吻合较好,统计能量法能够有效计算复合板隔声特性。

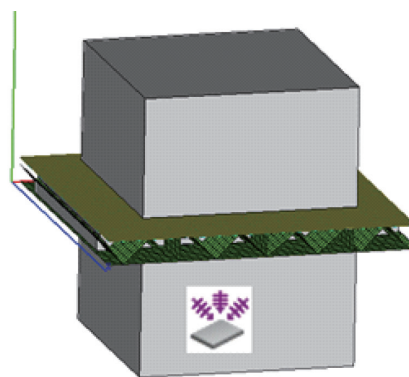


图4 地板铝型材 FE-SEA 隔声预测模型

Fig.4 Aluminum floor of FE-SEA Sound insulation prediction model

下面对验证后的模型施加不同厚度阻尼层,探究阻尼层厚度对铝型材隔声特性的影响规律。由于试验条件所限,试验中所用到阻尼的各项参数未可知,故在模型中以粘弹性阻尼作为计算用阻尼材料。设置 5 组计算工况,见表 1,分别为无阻尼、2、4、6、8mm 阻尼。1/3 倍频程下的频率隔声量计算结果如图 5 所示,并计算各自的计权隔声量,具体见表 1。

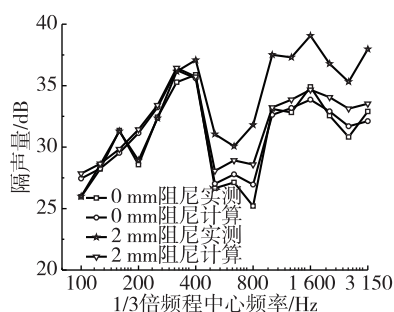


图5 模型预测和实测对比

Fig.5 Comparison of model predictions and measurements

表1 不同阻尼层厚度铝型材隔声特性计算工况

Table 1 Calculation condition of sound insulation of aluminum profile with different damping layer thickness

工况	阻尼厚度/mm	质量/kg	计权隔声量/dB
工况 1	0	30	31.5
工况 2	2	33	32.6
工况 3	4	36	33.5
工况 4	6	39	34.2
工况 5	8	42	34.8

同阻尼层厚度的铝型材频率隔声量计算结果如图6所示,由图6可见,在100~400 Hz低频段,2条曲线随质量的增加而呈现由低到高平行排列,相邻曲线间相距约0.3 dB,按照质量定律,喷涂阻尼浆引起的质量增加对隔声量增加量的贡献应为0.2~0.4 dB,可见仿真结果在此频段的关系基本符合质量定律。在500~800 Hz,2条曲线之间的差距变大,而质量定律的影响已经相对很小,故阻尼浆对于地板铝型材中高频隔声量的提升效果较明显。但随着阻尼层厚度的增加,隔声量的提升幅度在慢慢变小。由于所用的阻尼及其各项参数与实际情况有区别,所以加阻尼的铝型材频率隔声量计算结果与实际存在一定的差异,但总的曲线走势是一致的,因此,此结果可用来做阻尼层厚度对铝型材隔声特性影响规律的判断。

## 5 结 论

通过双混响室法,对喷涂阻尼浆这种可行方式对地铁车辆地板铝型材隔声特性的影响规律做了测试,并结合仿真分析,基于计权隔声量和隔声效率的评价方法,对测试结果做了对比分析,得到以下结论:

1) 阻尼层厚度增加,对低频段隔声量的影响主要由于质量定律的作用,而对中高频隔声量的提高贡献较大,尤其在630~800 Hz的谷值区段,其隔声量的提升较为明显,计权隔声量也随之提升,但隔声量的提升幅度在慢慢减小,最后趋于与由质量定律

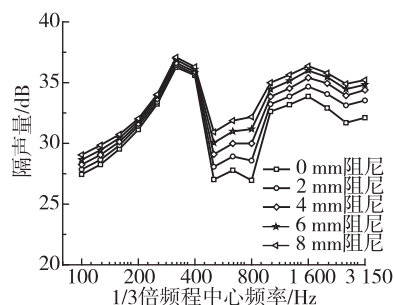


图6 不同阻尼层厚度的铝型材频率隔声量计算结果

Fig.6 The calculation results of aluminum frequency sound insulation layer thickness in different damping

引起的隔声量提升量相等;

2) 阻尼层厚度的增加可以不断提高铝型材的隔声水平,但也会引起铝型材质量的不断上升,也会占用更多的空间,这与地板轻量化的要求不相符合,因此,在喷涂阻尼层时,在限度范围内可适当增加其厚度,以达到尽可能提高隔声量的目的。

## 参考文献:

- [1] WU T X, THOMPSON D J. On the rolling noise generation due to wheel/track parametric excitation[J]. Journal of Sound and Vibration, 2006, 293(3/4/5): 566-574.
- [2] THOMPSON D J. Railway noise and vibration[M]. Netherlands: Elsevier, 2009.
- [3] 刘林芽, 雷晓燕, 练松良. 轨道交通轮轨滚动噪声的预测[J]. 振动与冲击, 2007, 26(12): 146-149.
- [4] 韩健, 肖新标, 金学松, 等. 城市轨道交通车轮振动声辐射特性[J]. 机械工程学报, 2012, 48(10): 116-121.
- [5] 张玉梅. 地铁阻尼环低噪声车轮振动声辐射特性试验研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2012.
- [6] 何远鹏, 焦洪林, 赵悦, 等. 嵌入式轨道弹性材料特性对钢轨振动与声辐射的影响[J]. 噪声与振动控制, 2015, 35(3): 52-55.
- [7] 王瑞乾, 肖新标, 刘佳, 等. 高速列车阻尼喷涂式铝型材减振降噪特性试验[J]. 噪声与振动控制, 2014, 34(4): 53-55.
- [8] 唐勇军, 郭海洋. 城轨车辆整车隔声性能分析研究[J]. 电力机车与城轨车辆, 2011(5): 41-42.
- [9] 马大猷. 噪声与振动控制工程手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.
- [10] 陈鑫. 基于SEA方法的轿车车内噪声分析与控制研究[D]. 长春: 吉林大学, 2008.

(责任编辑: 李艳)