

文章编号:2095-0411(2017)05-0052-05

隔音垫参数对高速列车地板结构隔声特性的影响

徐 磊,张学飞,邓 欣,耿 卓,孔令行

(常州大学 城市轨道交通学院,江苏 常州 213164)

摘要:提高地板结构的隔声量,对于控制降低高速列车车内噪声水平具有重要作用。在声学实验室的隔声试验中发现,地板结构中分别使用 3 种不同参数的隔音垫,其整体结构的隔声特性曲线几乎相同。针对这一问题,基于隔声质量定律和隔声量叠加规律,使用统计能量法建立板件结构隔声预测模型,并结合试验进行深入分析研究。研究结果表明,当基础结构本身具有较大的面密度和较高的隔声量时,增加的隔音垫其面密度、隔声量等参数需要相对基础结构达到一定的比例才能起到进一步提高整体结构隔声量的作用,可为高速列车地板结构隔声优化和改进提供参考。

关键词:高速列车;地板;隔音垫;隔声量;质量定律;统计能量法

中图分类号:U 270.1

文献标志码:A

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2017.05.008

Effects of Parameters of Soundproof Mat on Sound Transmission Loss of the Floor of High-Speed Train

XU Lei, ZHANG Xuefei, DENG Xin, GENG Zhuo, KONG Lingxing

(School of Urban Rail Transit, Changzhou University, Changzhou 213164, China)

Abstract: It has great significance to control and reduce interior noise of a high-speed train by improving the sound insulation of the floor. During the test in acoustic laboratory, it is recognized that the sound insulation characteristics are almost the same when adding three soundproof mats of different parameters in the floor structure, separately. To solve the problem, a SEA model based on mass law and sound insulation superposition law is established to predict a plate's sound transmission loss, and combined with in-depth analysis and experimental research. It is shown from the results, when there is requirement to improve the sound transmission loss of the basic structure which has very large surface density and sound insulation, the proportion of the surface density and sound insulation between the soundproof mat and the total floor structure must be improved until it is larger than a certain value. The study will make references to the optimization and improvement of the sound transmission loss of high-speed train floor.

Key words: high-speed train; floor; soundproof mat; sound transmission loss; mass law; statistical energy analysis

收稿日期:2017-04-22。

作者简介:徐磊(1991—),男,江苏无锡人,硕士生。通讯联系人:张学飞(1965—),E-mail:zxzfxf1989@sina.com

随着中国高速列车的快速发展,其运行速度的不断提高,高速列车的噪声问题已逐渐成为其可靠运营的关键因素^[1-2]。很多专家与学者对噪声问题展开了大量的研究,现有的成果大多集中于车内噪声的仿真与测试^[3-5],以及舒适性评价^[6-7]等。而对于如何有效控制车内噪声,以及如何开展相应的低噪声设计则涉及较少。现有的研究表明,车内噪声根据传递路径可以分为空气传声和结构传声两种主要形式^[8]。其中,针对空气传声路径进行车内噪声控制的最有效方法就是提高地板结构的隔声量。提高地板结构隔声量的方法有很多,张学飞等^[9]基于统计能量法对地板结构喷涂阻尼浆隔声性能的影响进行了深入研究,发现增加阻尼浆厚度可以不断提高铝型材的隔声水平,而使用隔音垫则是改善地板结构隔声量的最有效和最简便的方法^[10]。

以高速列车地板结构为基础,通过添加不同参数的隔音垫对其进行隔声设计,形成相应的地板组合结构,在隔声室中进行隔声特性的测试,研究隔音垫参数对地板结构隔声特性的影响规律。首次提出了在高速列车地板结构中隔音垫的使用方法,并在理论层面上作出了相应的解释,相关的研究可为高速列车地板结构的隔声优化和改进提供参考,具有一定的实用价值。

1 地板结构隔声方案设计

针对高速列车地板结构隔声性能的要求,同时考虑其质量、空间的限值,设计了4种地板结构组合方案,该4种方案均由木地板、隔音材组合包以及铝型材外地板这3层基本结构组成,区别仅在于分别使用了不同参数的隔音垫。其中,样件1作为原地板结构样件,没有添加任何隔音垫,样件2至样件4分别添加0.8mm隔音垫、5mm隔音垫,以及同时添加0.8mm隔音垫与5mm隔音垫的地板结构样件。图1给出了以上4种地板结构方案的试件截面。

2 试验概述

2.1 地板结构隔声特性的测量

利用混响室-混响室方法,展开对以上4种地板结构样件的隔声特性测试。依据国家标准 GB/T 19889—2005《建筑 and 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》^[11]测试试件各频段的隔声量。2个混响室测得的声压级做算术平均得到 L_1 和 L_2 ,分别代入式(1),得到试件的频率隔声量 R 。

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

式中: S 为试件的表面积, m^2 ; V 为接收室容积, m^3 ; t 为接收室的混响时间, s 。测试现场如图2所示。

在测得1/3倍频程下隔声特性的基础上,根据国家标准 GB/T 50121—2005《建筑隔声评价标准》^[12],计算4种地板结构样件的计权隔声量 R_w ,作为其隔声性能的单值评价量。

2.2 隔声测试结果及分析

图3给出了以上4种地板结构样件的隔声特性测试结果。由图3可见,4条曲线十分接近,没有添加隔音垫的原地板结构计权隔声量为51.6dB,在地板结构中分别添加0.8mm隔音垫和添加5mm隔

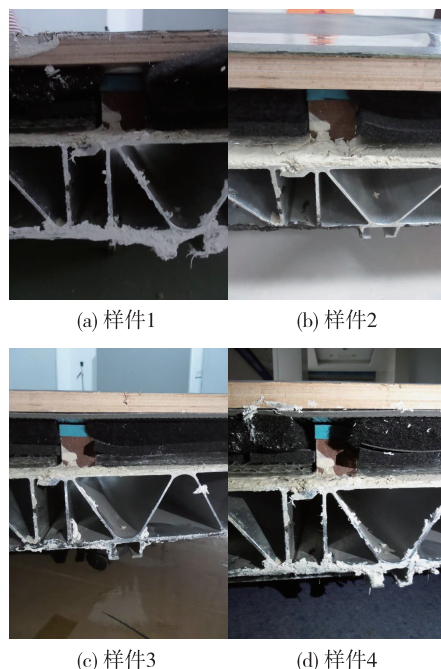


图1 高速列车各地板结构方案截面

音垫时的计权隔声量均为 51.7dB,比原地板结构仅提高 0.1dB,而在地板结构中同时添加 0.8mm 隔音垫与 5mm 隔音垫的计权隔声量为 51.8dB,在原地板结构基础上仅增加了 0.2dB。

可见,虽然各地板结构的隔音垫添加情况不同,但 4 种工况的计权隔声量却几乎没有差别,也就是隔音垫的添加并没有起到明显提高地板结构隔声量的作用。针对这一问题,基于隔声质量定律和隔声量叠加规律,使用统计能量法建立板件结构隔声预测模型,并进一步结合试验验证分析展开深入研究。

3 隔音垫参数影响仿真分析

在地板结构中添加隔音垫,对于其隔声而言,一方面可以看作是向原有的地板结构中增加了质量,另一方面可以看作是向原有的地板结构中叠加了隔声量。即需要研究 2 个问题:一是增加质量对于结构隔声特性的影响,二是叠加隔声量对结构隔声特性的影响。表 2 给出了以上所使用隔音垫的基本参数。

3.1 质量定律的影响

一般而言,结构的隔声量是遵循质量定律的,对于一般的固体材料,其隔声量可以表示为

$$R = 20 \lg \frac{\omega m}{2 \rho_1 c_1} \quad (2)$$

式中: R 为隔声量; ω 为声波的圆频率; m 为质量; $\rho_1 c_1$ 为空气特性阻抗。

根据表 1,样件 1 为原有地板结构,没有添加任何隔音垫,其质量为 64.5kg。而样件 2、样件 3 和样件 4 分别在样件 1 的基础上添加了不同的隔音垫,其质量相当于在样件 1 的基础上增加了 2.45, 6.65kg 和 8.25kg。

当仅考虑质量定律时,假设原有地板结构是质量为 64.5kg 的单板,现在其基础上分别增加质量为原有质量的 0 ~ 0.5 倍,即 0 ~ 32.25kg,研究质量增加之后的隔声特性变化规律,图 4 给出了计算结果。

由图 4 可见,当增加的质量是原有结构质量的 0.5 倍时,即在 64.5kg 的结构上继续增加 32.25kg 时,其隔声量提高约 3.5dB。随着增加的质量相对于原有结构质量的不断变小,整体结构的隔声量增加量呈现不断减小的趋势。

对于该 4 种地板结构样件的隔声测试而言,样件 2、样件 3 和样件 4 相对于原地板结构在质量上分别增加了 0.04,0.10 倍和 0.13 倍。结合图 4,在仅考虑隔声质量定律的情况下,质量增加 0.1 倍左右,其结构的隔声量增加约 0.8dB。由此可知,增加隔音垫之后地板结构的隔声量没有明显提高,与本次实



(a) 发声室一侧



(b) 受声室一侧

图 2 地板结构隔声测试现场

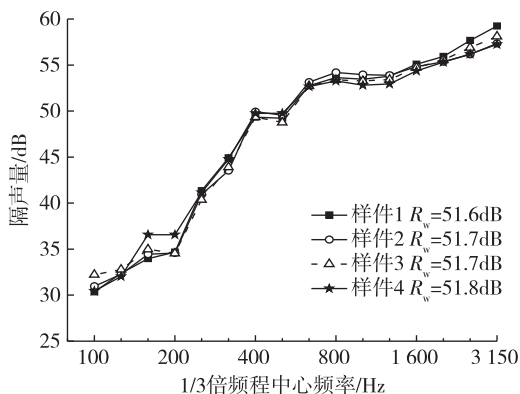


图 3 高速列车地板结构方案隔声测试结果

表 2 隔音垫基本参数

序号	隔音垫参数		R_w /dB
	厚度/mm	质量/kg	
1	0.8	2.45	25.0
2	5	6.65	32.5

验中原地板结构的质量较重,而所使用隔音垫的质量相对于原地板结构较轻有很大关系。

3.2 隔声量叠加的影响

地板结构样件的隔声测试中,没有添加隔音垫时的原地板结构计权隔声量为 51.6dB,可见其本身的基础隔声量较高。以上述 5mm 隔音 ρ 为 32.5dB。为了研究结构本身基础隔声量较高时,再添加不同隔声量的隔声材料对其总体隔声量的影响,基于统计能量法,在 VA One 中建立板-空腔-板的复合结构隔声仿真模型,如图 5 所示。其中,设计厚板的计权隔声量 R_w 为 51.6dB,薄板的计权隔声量 R_w 依次从 22.5dB 增加到 49.5dB,每次增加 3dB。即薄板与厚板的计权隔声量差值依次从 29.1dB 降低到 2.1dB,每次降低 3dB。图 6 给出了计算结果。

由图 6 可见,当叠加的隔声量和原基础结构的隔声量仅相差 2.1dB 时,整体结构的隔声量提高了约 5dB。而当叠加的隔声量和原基础结构的隔声量相差达到 29.1dB 时,整体结构的隔声量只提高了 0.3dB,基本没有变化。

对于地板结构样件隔声测试而言,5mm 隔音垫的计权隔声量为 32.5dB,和地板结构本身的隔声量 51.6dB 相差了 19.1dB,在理想状态下,隔声量叠加之后也仅仅提高了约 1.0dB。考虑到实际组合中,不同材料之间的相互作用也会对隔声特性产生影响。因此,增加隔音垫之后地板结构的隔声量没有明显提高,和本次实验中原地板结构的基础隔声量较高,而所使用隔音垫的隔声量与原地板结构基础隔声量的差值较大有关。

4 隔音垫效果试验验证

鉴于上述 5mm 隔音垫的质量较轻,且隔声量和地板结构的基础隔声量差值较大,现将原 5mm 隔音垫换成面密度更大、隔声量更高的新 5mm 隔音垫,将对原地板结构添加新 5mm 隔音垫后的地板结构作为样件 5,并进行隔声测试。表 3 给出了样件 5 与样件 2 相关参数的对比。图 7 给出了样件 5 与样件 2 隔声特性测试结果的对比。

由图 7 可见,添加新 5mm 隔音垫的样件 5

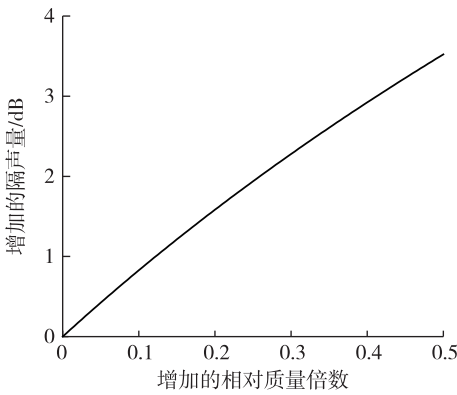


图 4 质量定律对结构隔声量的影响规律

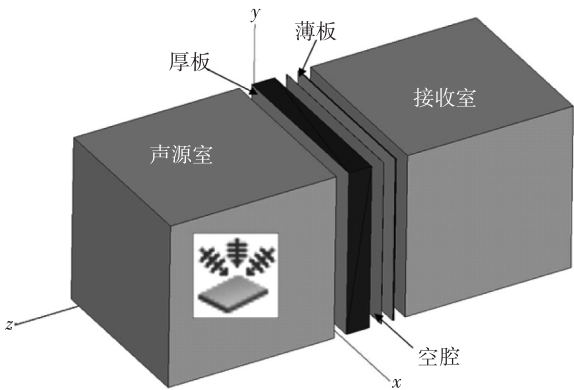


图 5 隔声量叠加统计能量法计算模型

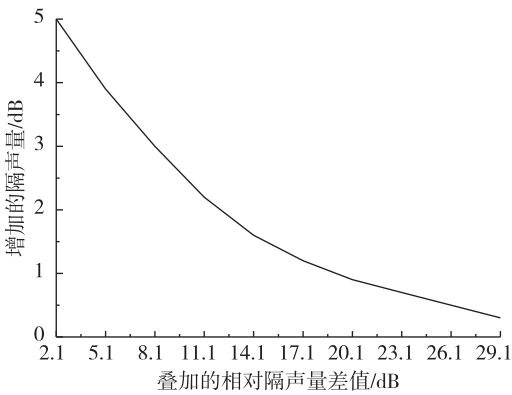


图 6 叠加隔声量对结构隔声量的影响规律

表 3 样件 5、样件 2 及所用隔音垫的参数对比

样件编号	所使用的隔音垫参数			地板结构质量/kg
	厚度/mm	质量/kg	R_w /dB	
样件 5	5mm	10.5	36.9	75.0
样件 2	5mm	6.65	32.5	71.15

相比添加原 5mm 隔音垫的样件 2 而言,在全频段的隔声量均有所提高,尤其以中频提高更为明显,其计权隔声量提高 0.6dB;根据之前的质量定律及隔声量叠加对结构隔声特性影响规律的分析,新 5mm 隔音垫比原 5mm 隔音垫面密度增大接近一倍,且计权隔声量增大 4.4dB,则使得样件 5 的隔声量能够在原地板结构的基础上有了明显提高。

验证方案表明,增大隔音垫的质量,或缩小隔音垫和地板结构之间的隔声量差值,将有助于进一步提高地板结构的隔声水平。

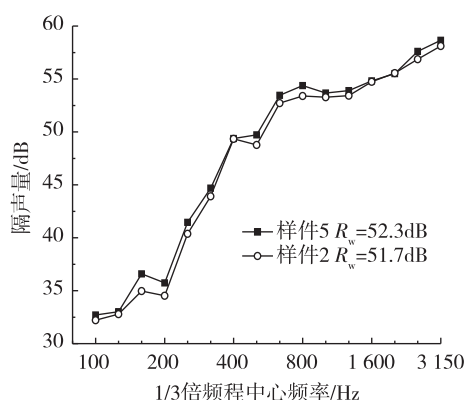


图7 添加2块5mm隔音垫的地板结构隔声特性对比

5 结 论

针对高速列车车内噪声空气传声路径控制,设计了4种地板隔声组合方案,研究了隔音垫参数对地板结构隔声特性的影响,主要结论如下:

1)当基础结构本身具有较大的面密度和较高的隔声量时,增加的隔音垫其面密度、隔声量等参数需要相对基础结构达到一定的比例才能起到进一步提高整体结构隔声量的作用。

2)增大隔音垫的质量,或缩小隔音垫和地板结构之间的隔声量差值,将有助于进一步提高地板结构的隔声水平。

参考文献:

- [1]沈志云. 高速列车的动态环境及其技术的根本特点[J]. 铁道学报, 2006, 28(4): 1-5.
- [2]俞悟周, 王晨, 毛东兴, 等. 高速铁路动车组列车的噪声特性[J]. 环境污染与防治, 2009, 31(1): 74-77.
- [3]张春岩. 高速列车车内噪声预测及声学参数设计[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
- [4]ZHANG J, XIAO X B, SHENG X Z, et al. SEA and contribution analysis for interior noise of a high speed train[J]. Applied Acoustics, 2016, 112: 158-170.
- [5]RODOLFO C S, BISWANATH S. Noise and vibration issues of wind turbines and their impact-a review[J]. Wind Engineering, 2015, 396(6): 693-702.
- [6]杨志, 伍川辉, 靳行. 高速列车客室内部噪声舒适性评价指标的研究[J]. 机械制造, 2015, 12: 49-51.
- [7]孟凡雨. 高速列车车内声品质评价研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2013.
- [8]张捷, 肖新标, 张玉梅, 等. 100%低地板列车车内噪声传递特性分析[J]. 振动工程学报, 2015(4): 541-549.
- [9]张学飞, 孔令行, 王瑞乾, 等. 喷涂阻尼浆对地铁车辆地板铝型材隔声性能影响研究[J]. 常州大学学报(自然科学版), 2016(3): 79-82.
- [10]孙加平, 张丽荣, 孙海荣, 等. 高速列车夹芯地板结构隔声特性研究[J]. 噪声与振动控制, 2014(4): 39-43.
- [11]全国声学标准化技术委员会. 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: GB/T 19889—2005[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [12]中华人民共和国建设部. 建筑隔声评价标准: GB/T 50121—2005[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

(责任编辑: 李艳)