文章编号:1005-0523(2016)04-0031-06

迷宫式约束阻尼钢轨减振降噪试验分析

李纪阳[1],刘林芽[1],尹学军[2]

(1.华东交通大学铁路环境振动与噪声教育部工程研究中心,江西 南昌 330013;2.隔而固(青岛)减振技术有限公司,山东 青岛 266071)

摘要:为研究阻尼钢轨的减振降噪性能,以标准钢轨和迷宫式约束阻尼钢轨为研究对象,通过在消声室内测试标准钢轨和迷宫式约束阻尼钢轨的振动与噪声特性,实验结果表明:阻尼钢轨具有良好的减振降噪效果,阻尼钢轨在全频段内有效地抑制振动和噪声。在径向冲击荷载下,迷宫式约束阻尼钢轨相对于标准钢轨的振动加速度衰减量为5%~19%,振动时间衰减量都大于94%,总噪声级降低达9 dB以上;在轴向的冲击荷载下,迷宫式约束阻尼钢轨相对于标准钢轨的振动加速度衰减量为9%~21%,振动时间衰减量都大于92%,总噪声级降低达5 dB以上。实验结果为新型约束阻尼钢轨的优化设计提供了更加准确的实验依据。

关键词:阻尼钢轨;室内测试;时域分析;减振;噪声级

中图分类号:U213.4 文献标志码:A

DOI:10.16749/j.cnki.jecjtu.2016.04.005

随着我国铁路及城市轨道交通的迅速发展,由此引发的振动与噪声污染也在急剧增加,给人们的生活、工作、健康造成很大的影响。钢轨既是振源,也是振动噪声传播途径中一个重要的环节。从振源、传递因素的角度出发,研究铁路钢轨的减振降噪性能较为合理,也是最有效的方法[1-3]。阻尼钢轨是一种在源头上减振降噪的技术,指在钢轨表面粘贴阻尼材料的钢轨,一般由3部分组成:基层、阻尼层和约束层,约束层通常为金属薄板制成,随着阻尼减振降噪技术的快速发展,该技术已经在轨道交通减振降噪领域取得了一定的应用[4-7]。

由于普通阻尼钢轨的减振降噪声效果一般,为了寻找一种更有效降低振动噪声的钢轨阻尼层结构,发明了一种新型迷宫式约束阻尼钢轨。迷宫式约束阻尼钢轨具有如下优点:阻尼层蜿蜒曲折,阻尼面积可以远大于粘贴表面;约束板的凹凸可以采用矩形或梯形等抗弯刚度较高的截面,在同样材料用量时抗弯刚度较高,约束作用强;阻尼层可以垂直于主要模态的振动表面设置,阻尼应力和阻尼力矩显著增加,耗能作用加强;在同样尺寸和附加重量时,迷宫式约束阻尼结构产生的阻尼远高于单层约束阻尼结构,性价比更高[8]。

国内外对阻尼钢轨研究较多运用仿真分析,或者只针对钢轨振动和噪声中的一个方面来做实验分析。对于阻尼钢轨减振降噪性能的分析需要在严格的实验条件下才能进行准确分析,而目前国内在消声室内测定阻尼钢轨减振降噪性能的研究还很缺乏。本文通过在消声室内测试标准钢轨和迷宫式约束阻尼钢轨来对比分析迷宫式约束阻尼钢轨的减振降噪性能,从减振和降噪2个方面综合考虑阻尼钢轨的性能,为新型约束阻尼钢轨的优化设计提供更加准确的实验依据。

1 测试方案

本测试在铁路环境振动与噪声教育部工程研究中心的消声室中进行,对标准钢轨和迷宫式约束阻尼钢轨在相同的条件下分别进行径向和轴向的冲击激励。

在钢轨轨顶处安装一个加速度传感器,在钢轨中间的轨腰和轨底位置各安装一个加速度传感器。利用

收稿日期:2016-03-15

基金项目:国家自然科学基金项目(51578238);铁路环境振动与噪声教育部工程研究中心资助项目(15TM02)

作者简介:李纪阳(1987—),男,助理实验师,硕士,研究方向为铁路环境振动与噪声;刘林芽(1973—),男,教授,博士,研究方向为铁路环境振动与噪声。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

电荷电压滤波积分放大器对信号进行转换,用信号采集分析仪对信号进行采集和处理。

利用声学传感器对径向激励和轴向激励下钢轨所产生的声辐射进行采样,根据信号采集仪采集到的试验数据,进行1/3倍频程分析。通过对比,得出标准钢轨和阻尼钢轨声辐射随频率的变化情况。图1为加速度传感器及声学传感器安装示意图,图2为加速度传感器和声学传感器具体安装图。

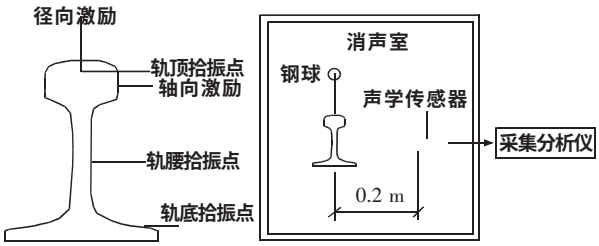


图1 加速度传感器和声学传感器安装示意图

Fig.1 Schematic diagram of the acceleration sensor installation

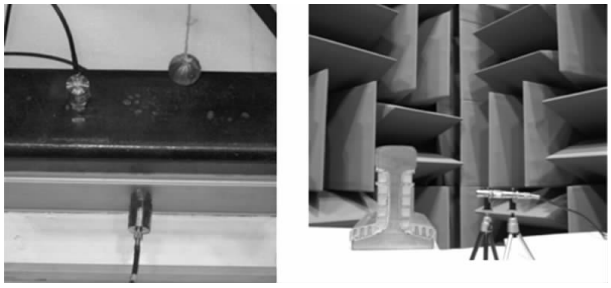


图2 加速度传感器和声学传感器的具体安装图

Fig.2 The specific acceleration sensor installation diagram

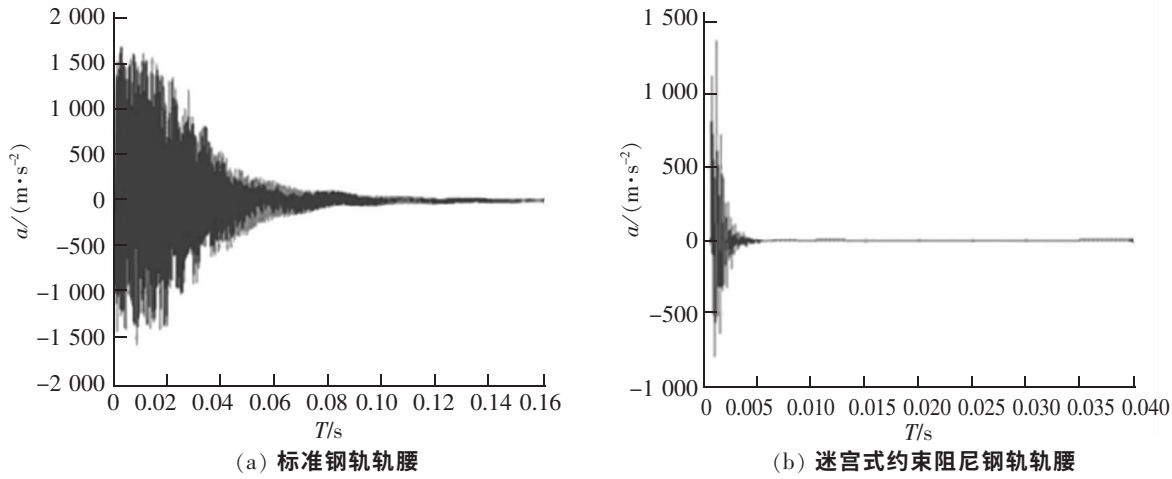
2 振动试验结果分析

时域分析是指结构在一定的输入下,根据输出量的时域表达式分析结构的稳定性、瞬态和稳态性能。由于时域分析是直接在时间域中对系统进行分析的方法,所以时域分析具有直观和准确的优点。

2.1 径向激励结果时域分析

径向激励模拟钢轨受到车轮的垂向作用力,本测试用一钢球在钢轨正上方自由落体分别对标准钢轨和迷宫式约束阻尼钢轨施加相同的冲击荷载。

图3为标准钢轨和迷宫式约束阻尼钢轨在钢球径向激励下轨腰拾振点的加速度响应。



(a) 标准钢轨轨腰 (b) 迷宫式约束阻尼钢轨轨腰

图3 轨腰振动加速度图

Fig.3 Rail lumbar vibration acceleration

根据测试数据可以得知,在径向的冲击荷载下不论是加速度幅值还是振动衰减时间,迷宫式约束阻尼钢轨的减振效果都十分明显。表1列出了在径向激励下钢轨各个位置的加速度最大值与振动衰减时间,并进行了差值比较。迷宫式约束阻尼钢轨相对于标准钢轨的振动加速度减小值普遍大于100 $m\cdot s^{-2}$,加速度衰减量最大为52.61%,衰减时间的衰减量普遍大于92.5%。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　径向激励加速度与衰减时间对比

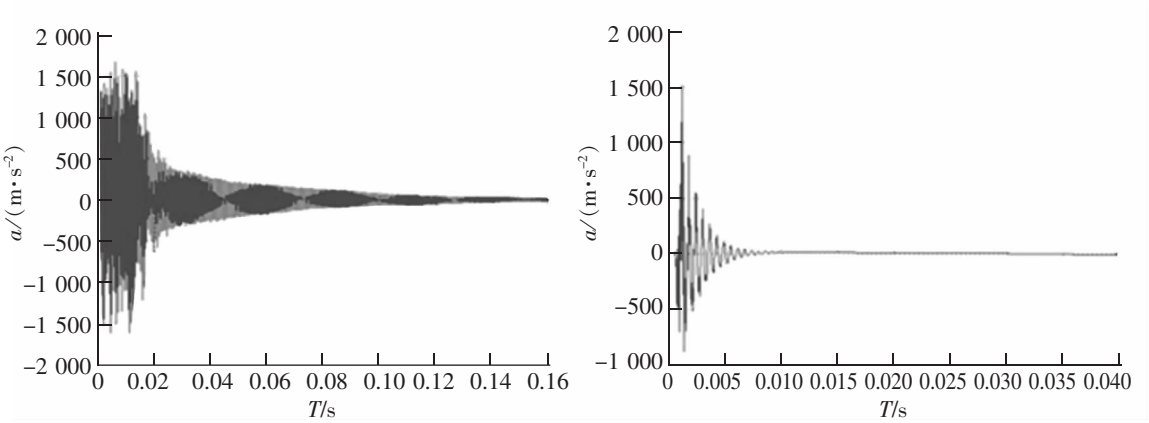
Tab.1　Comparison of radial excitation acceleration and decay time

类别	标准钢轨	迷宫式约束阻尼钢轨	绝对值差值	衰减量/%
轨顶振动极值/(m·s^{-2})	+1 790	+1 687	103	5.75
	−1 765	−1 633	132	7.48
轨顶振动衰减时间/s	0.14	0.007 5	0.132 5	94.64
轨腰振动极值/(m·s^{-2})	+1 682	+1 360	322	19.14
	−1 665	−789	876	52.61
轨腰振动衰减时间/s	0.12	0.006	0.114	95.00
轨底振动极值/(m·s^{-2})	+1 666	+1 384	282	16.93
	−1 570	−1 062	508	32.36
轨底振动衰减时间/s	0.14	0.005	0.135	96.43

2.2　轴向激励结果时域分析

轴向激励模拟钢轨受到车轮的横向冲击荷载，本测试用一钢球做成单摆在钢轨侧上方自由摆落分别对标准钢轨和迷宫式约束阻尼钢轨施加相同的冲击荷载。

图 4 分别为标准钢轨和迷宫式约束阻尼钢轨在钢球轴向激励下轨腰拾振点的加速度响应。



(a) 标准钢轨轨腰　　(b) 迷宫式约束阻尼钢轨轨腰

图 4　轨腰振动加速度图

Fig.4　Rail lumbar vibration acceleration

根据测试数据可以得知，在轴向的冲击荷载下不论是加速度幅值还是振动衰减时间，迷宫式约束阻尼钢轨的减振效果也都是十分的明显。表 2 列出了在轴向激励下钢轨各个位置的加速度最大值与振动衰减时间，并进行了差值比较。迷宫式约束阻尼钢轨相对于标准钢轨的振动加速度减小值普遍也都大于 160 m·s^{-2}，加速度衰减量最大为 52.63%，衰减时间的衰减量普遍大于 92.5%。

2.3　钢轨减振自谱分析

为了进一步分析钢轨的振动特性，对加速度时程进行傅立叶变换，得到相对应测点振动加速度频谱曲线。

图 5 为标准钢轨和迷宫式约束阻尼钢轨在钢球径向激励下的轨腰位置的振动加速度频谱曲线。

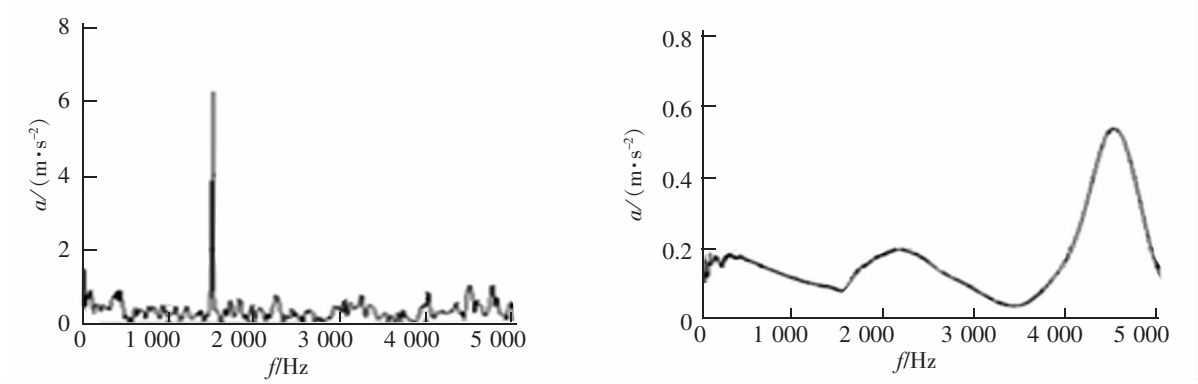
根据图 5 可以得出钢轨的振动表现为高频振动，钢轨的轨腰处有若干共振峰值。根据曲线可以明显看出迷宫式约束阻尼钢轨在 0~5 000 Hz 范围内具有良好的减振效果，文献[9−10]认为以振动加速度为衡量标准，在 1 800 Hz 以下及 2 100 Hz 以上轮轨振动主要以钢轨振动为主，而实验表明迷宫式阻尼钢轨在上述频段内有效地抑制振动，且减振效果明显，说明迷宫式约束阻尼钢轨是一种宽频的减振措施。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表2 轴向激励加速度与衰减时间对比

Tab.2 Comparison of axial excitation acceleration and decay time

类别	标准钢轨	迷宫式约束阻尼钢轨	绝对值差值	衰减量/%
轨顶振动极值/(m·s^{-2})	+1 580	+1 243	337	21.33
	−1 520	−720	800	52.63
轨顶振动衰减时间/s	0.08	0.006	0.074	92.50
轨腰振动极值/(m·s^{-2})	+1 663	+1 503	160	9.62
	−1 611	−878	733	45.50
轨腰振动衰减时间/s	0.16	0.006	0.154	96.25
轨底振动极值/(m·s^{-2})	+1 653	+1 432	221	13.37
	−1 530	−1 226	304	19.87
轨底振动衰减时间/s	0.16	0.009	0.151	94.38



(a) 标准钢轨轨腰 (b) 迷宫式约束阻尼钢轨轨腰

图5 轨腰加速度频谱图

Fig.5 Rail Lumbar track acceleration spectrum

3 钢轨噪声1/3倍频程谱分析

在噪声测量中,最常采用的带宽是倍频程、1/2倍频程和1/3倍频程,为详细研究钢轨噪声的频谱特性,对采集到的数据进行1/3倍频程分析,如图6、图7所示。同时得到径向激励和轴向激励下阻尼钢轨噪声的总降噪量,详见表3。

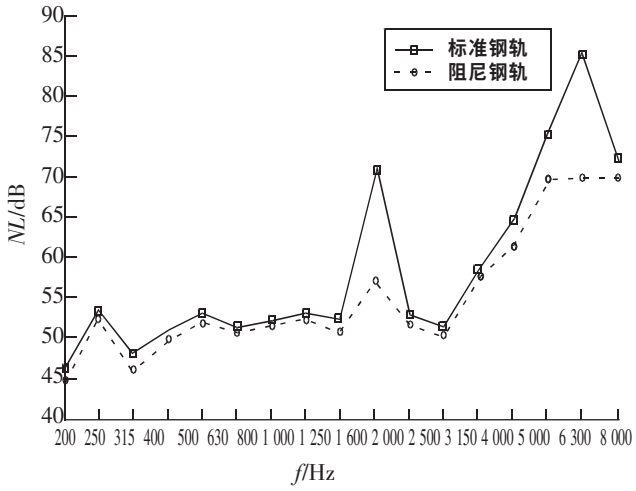


图6 径向激励下三分之一倍频程曲线

Fig.6 1/3 times octave curve radial incentive

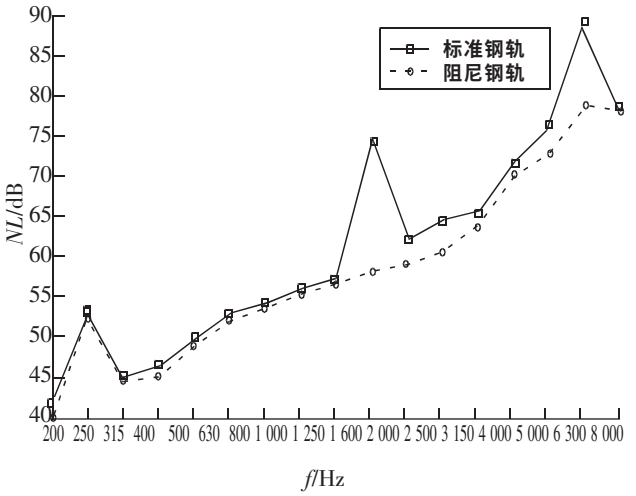


图7 轴向激励下三分之一倍频程曲线

Fig.7 1/3 times octave curve under axial incentive

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　径向激励和轴向激励下阻尼钢轨噪声的总降噪量

Tab.3　The total noise reduction of damping rail noise excitation under radial incentive and axial incentive

类别	标准钢轨/dB	迷宫式约束阻尼钢轨/dB	差值/dB	衰减量/%
径向激励	81.4	72.4	9.0	11.1
轴向激励	83.5	78.3	5.2	6.2

从图 6、图 7 以及表 3 可以看出：迷宫式约束阻尼钢轨降噪效果明显，在 1 250~8 000 Hz 频段内降噪效果尤为突出。其中在径向激励的情况下，6 300 Hz 处的噪声级从能量最高的 85.6 dB 下降到了 69.9 dB，且总噪声级降低了 9.0 dB；在轴向激励的情况下，6 300 Hz 处的噪声级从 89.4 dB 下降到了 79.0 dB，且总噪声级降低了 5.2 dB。研究结果说明阻尼钢轨在 1 250 Hz 以上范围内，降噪效果显著。径向衰减量达到 11%，轴向衰减量达到 6%。

4　结论

通过在消声室内对标准钢轨和迷宫式约束阻尼钢轨进行对比试验，得到以下结论：

1）迷宫式约束阻尼钢轨具有明显的减振性能，在相同激励条件下，径向激励时加速度衰减量最大为 52.61%，振动衰减时间的减少在 92.5%以上，轴向激励时振动加速度衰减量最大为 52.63%，振动衰减时间的减少在 92.5%以上。标准钢轨的主要共振频率集中在 1 600~8 000 Hz，阻尼钢轨的主要共振峰值向高频移动。

2）迷宫式约束阻尼钢轨具有明显的降噪性能，在相同激励条件下，径向激励时总噪声级降低了 9.0 dB，轴向激励时总噪声级降低了 5.2 dB。

3）该阻尼钢轨在较宽的频率范围具有良好的减振降噪作用，在 1 600~6 300 Hz 下减振与降噪相互吻合，尤其对轨腰的减振效果十分明显，此工艺无需对钢轨结构进行改变，只需在钢轨表面进行迷宫式约束阻尼处理，工艺简单。

参考文献：

[1] 翟婉明. 车辆-轨道耦合动力学[M]. 3 版. 北京：科学出版社，2007：288-298.

[2] RUFIN M，MINORU Y. Railroad noise in an open space[J]. Applied Acoustics，1996，49(4)：291-306.

[3] BEWESO G，THOMPSON D J，JONESC JC，et al. Calculation of noise from railway bridges and viaducts：experimental validation of a rapid calculation model[J]. Journal of Sound and Vibration，2006，293(3/5)：933-943.

[4] LIU LINYA，LIU HAILONG，LV RUI. Research on noise and vibration reduction of damped wheel-rail[J]. Noise & Vibration Worldwide，2010，41：44-47.

[5] 蒋伟康，万泉，严莉，等. 轨道交通的约束阻尼钢轨吸振器技术研究与应用[J]. 振动与冲击，2009，28(10)：78-83.

[6] 雷晓燕，张鹏飞. 阻尼车轮减振降噪的试验研究[J]. 中国铁道科学，2008，29(6)：60-64.

[7] 王金，李玉路，邵文杰，等. 基于自由振动的钢弹簧浮置板阻尼比测试分析[J]. 华东交通大学学报，2015，32(5)：1-5.

[8] 尹学军，减振轨道：中国，200610048318.2[P]. 2006-09-21.

[9] 刘林芽，雷晓燕. 轮轨系统高频振动研究[J]. 中国铁道科学，2004，25(2)：52-55.

[10] 魏伟，翟婉明. 轮轨系统高频振动响应[J]. 铁道学报，1999，21(2)：33-36.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Experimental Study on Noise and Vibration Reduction of Labyrinth Constrained Damped Rail

Li Jiyang[1], Liu Linya[1], Yin Xuejun[2]

(1.Engingeering Research Center of Railway Environment Vibration and Noise of the Ministry of Education, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China; 2.Separated and Solid (Qingdao) Vibration Technology Co., Ltd. ,Qingdao 266071,China)

Abstract: To study the vibration reduction performance of damped rail, this study takes the standard rail and labyrinth constrained damped rail as the study target. By testing the vibration performance of both standard rail and labyrinth constrained damped rail in an anechoic room, it uses the time-domain analysis to study the vibration changes with time passing. Results show that: the labyrinth constrained damped rail vibration can effectively reduce the vibration amplitude and duration. Under the radial impact load, compared with the standard rail, vibration acceleration attenuation of the labyrinth constrained damped rail is 5% -19% with time of vibration and attenuation greater than 94%, and the total noise level reduction can be up to above 9 dB; under the axial impact load, compared with the standard rail, vibration acceleration attenuation of the labyrinth constrained damped rail is 9% -21% with time of vibration and attenuation greater than 92%, and the total noise level reduction can be up to above 5 dB. The experimental results provide a more accurate experimental basis for the optimal design of a new type of constrained damping rail.

Key words: damped rail; indoor test; time domain analysis; vibration reduction; noise level

(责任编辑　刘棉玲)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net