

# 阻尼钢轨的降噪性能试验

曾钦娥<sup>1</sup>, 刘林芽<sup>1</sup>, 尹学军<sup>2</sup>

(1. 华东交通大学, 南昌 330013; 2. 隔而固减振技术有限公司, 山东青岛 266101)

**摘要:** 为研究阻尼钢轨的降噪性能, 以标准钢轨和阻尼钢轨为研究对象, 采用半消声室法进行室内声试验。通过对比试验, 得出了标准钢轨和阻尼钢轨的时域、自功率谱和 1/3 倍频程曲线图。试验结果表明: 阻尼钢轨产生的声压级幅值随时间迅速降低, 并且在很短的时间内衰减完毕, 衰减时间为标准钢轨的 1/16; 阻尼钢轨在 1250 Hz 以下频段范围内降噪效果不明显, 在 1250 Hz 以上频段范围内, 阻尼钢轨消耗了大部分能量, 总噪声级有很大的降低, 降噪效果显著。

**关键词:** 阻尼钢轨; 降噪性能; 半消声室法; 噪声级

**中图分类号:** TB533<sup>+</sup>.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-3630(2012)-01-0098-04

**DOI 编码:** 10.3969/j.issn1000-3630.2012.01.017

## Experimental research on noise reduction performance of damping rails

ZENG Qin-e<sup>1</sup>, LIU Lin-ya<sup>1</sup>, YIN Xue-jun<sup>2</sup>

(1. East China jiaotong university, Nanchang 330013, China; 2. Separated and solid Vibration Technology Co., Ltd, Qingdao 266101, Shandong, China)

**Abstract:** In order to research the noise performance of damping rail, a standard rail and a damping rail are taken as the research targets, and the experiment are carried out in the semi-anechoic room. Then the relationship between the standard and damping rails are analyzed, the time-domain and frequency spectrum analysis and the 1/3 octave curve of the standard and damping rails are obtained. The experimental results show that the sound pressure level of the damping rail reduces rapidly over time and dissipates in a very short time, just the 1/16 for the standard rail; Under 1250 Hz, the effect of noise reduction of the damping rail is not apparent; Above 1250Hz, the damping rail consumes most noise energy, and total noise level is greatly reduced; The noise reduction effect of labyrinth constrained damping rail is quite distinct.

**Key words:** damped rails; noise performance; semi-dead room method; noise level

## 0 引言

随着我国铁路的大规模发展及列车运行速度的不断提高, 铁路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。国外高速铁路的运行经验表明, 列车的振动噪声是列车环境污染中最突出的问题, 治理铁路噪声污染已成为高速铁路亟待解决的问题。为了降低铁路对周围环境的影响, 研究者提出了很多在振源上降低噪声的技术和措施, 如弹性车轮、约束阻尼钢轨和车轮、TMD(调频质量阻尼减振器)阻尼车轮和钢轨、隔声裙板等技术, 以及采用重型钢轨、无缝线路, 保持车轮踏面

和轨面光滑圆整, 采用柔性扣件等措施<sup>[1-5]</sup>, 这些措施在成本、耐久性、降噪效果等方面受到制约。其中增加阻尼为比较理想的降噪措施, 但由于一般的阻尼材料消耗钢轨振动能量的能力有限, 而且存在老化问题, 所以在国内外还没有得到广泛的应用, 因此需要寻找一种能有效降低噪声的阻尼层结构。

文章针对以上问题, 采用半消声室法分别对标准钢轨和迷宫式约束阻尼钢轨在径向激励和轴向激励下的声辐射响应进行测试。通过对比分析, 得出迷宫式约束阻尼钢轨降噪性能, 为迷宫式约束阻尼钢轨降噪的理论研究提供试验依据。

## 1 迷宫式约束阻尼钢轨

### 1.1 迷宫式阻尼钢轨的结构

阻尼钢轨是一种在声源上降低噪声的技术, 是指在钢轨表面粘贴阻尼材料的钢轨, 一般由三部分组成: 基层、阻尼层和约束层, 约束层通常为金属

收稿日期: 2011-04-13; 修回日期: 2011-05-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(51068007)、教育部新世纪优秀人才支持计划(NECT-09-0167)资助。

作者简介: 曾钦娥(1990—), 女, 江西宜春人, 硕士研究生, 研究方向为高速铁路轨道动力学

通讯作者: 刘林芽, Email: 250295064@qq.com

薄板制成，阻尼层和约束板的材料、厚度和形状对阻尼钢轨的降噪性能有很大的影响。

试验所用的钢轨为迷宫式约束阻尼钢轨，其阻尼结构由联结板和约束板及两者之间的阻尼层构成，联结板与约束板上设有相互配合的、实心或空心的凹凸结构或翘片，构成蜿蜒曲折的迷宫式约束阻尼腔室，阻尼腔室充满高性能的阻尼材料，联结板的表面形状同粘贴的轮轨表面的形状一致<sup>[3]</sup>，其结构如图 1 所示。

与普通单层约束阻尼结构相比，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<sup>[3]</sup>。

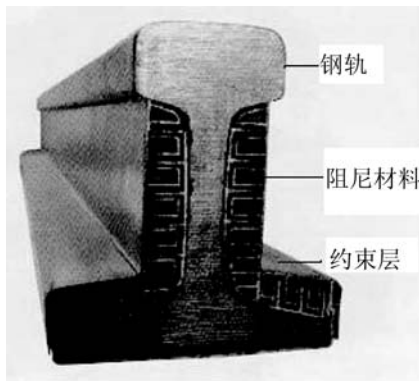


图 1 阻尼钢轨示意图  
Fig.1 Schematic plot of damping rail

### 1.2 迷宫式阻尼钢轨的降噪原理

由于阻尼能减弱金属构件弯曲振动强度，当金属构件弯曲振动时，振动能量迅速传给涂贴在其上的阻尼材料，引起阻尼材料内部摩擦和相互错动，使相当一部分振动能量变成热能而损耗掉，从而降低弯曲振动所辐射的噪声能量。另外，阻尼可缩短金属构件被激励的振动时间，相当于减少了金属构件辐射噪声的总能量<sup>[6-8]</sup>，由于钢轨的阻尼很小，在其外面黏贴阻尼材料可以很好地增加钢轨的阻尼，从而有效抑制钢轨的振动，减小钢轨的振动速度及表面声辐射，对降噪起着关键作用。

## 2 降噪试验

### 2.1 试验原理

采用半消声室法进行降噪试验，在相同的条件

下对标准钢轨和阻尼钢轨进行相同的激励，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，进行时域分析、自功率谱分析、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时间和频率的变化情况。

### 2.2 测试方法及试件安装

将标准钢轨和阻尼钢轨放置于半消声室(图 2 所示)，并在其下垫乳胶海绵，将声学传感器分别放置于离钢轨 0.2 m 和 0.4 m 处并与钢轨轨腰中间点同高，信号采集分析仪置于消声室外，图 3 所示为测量设备方框图。试验所采用的声学传感器为 46AE Microphone Unit(图 2)

为得到相同的激振力，使试验具有可比性，试验中使钢球从同一高度自由落下，以敲击钢轨，获得径向激振力，利用单摆系统获得轴向激振力。



图 2 传感器放置示意图  
Fig.2 Schematic plot of microphone placement

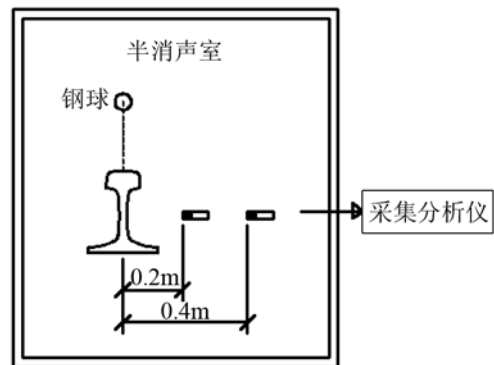


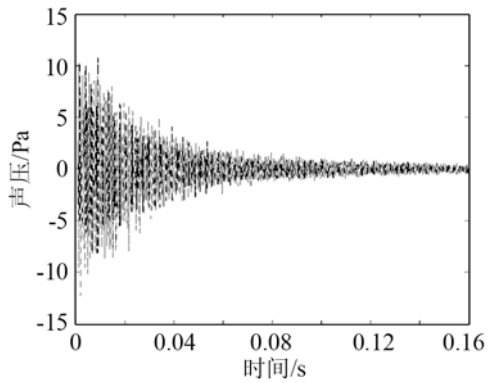
图 3 测量设备方框图  
Fig.3 The diagram of measurement device

## 3 试验结果与讨论

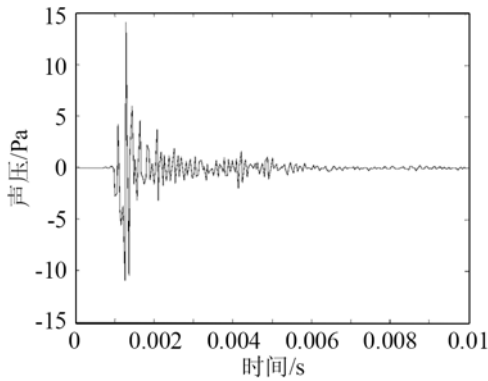
对于上述测试方案，设采样频率为 10000 Hz，分别采集标准钢轨和阻尼钢轨的声辐射响应，对试验结果进行时域分析、自功率谱分析和 1/3 倍频程分析。

标准钢轨和阻尼钢轨在径向和轴向激励下的

时域分析曲线图，如图 4、5 所示。



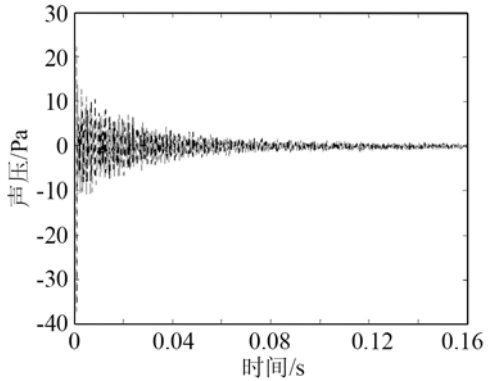
(a) 标准钢轨



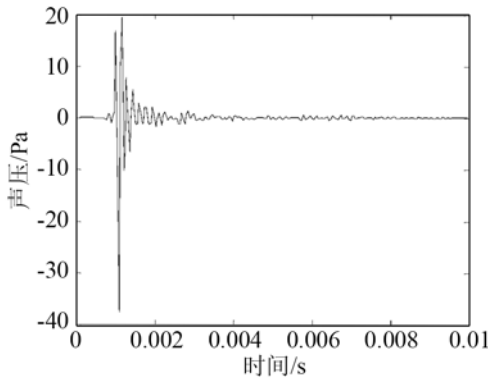
(b) 阻尼钢轨

图 4 径向时域分析

Fig.4 The time-domain analysis in radial excitation



(a) 标准钢轨



(b) 阻尼钢轨

图 5 轴向时域分析

Fig.5 The time-domain analysis in axial excitation

由图 4、5 可以得出，标准钢轨和阻尼钢轨在径向和轴向的最大声压幅值相差不大，但是阻尼钢轨的幅值随时间迅速衰减，并在很短的时间内衰减完毕，衰减时间为标准钢轨的 1/16，说明阻尼钢轨降噪效果显著。

对时域结果进行傅里叶变换，得到标准钢轨和阻尼钢轨在径向和轴向激励下的自功率谱分析曲线图(图 6、图 7)和倍频程曲线图(图 8、9)，通过计算得出径向激励和轴向激励下标准钢轨和阻尼钢轨噪声的总降噪量(表 1)和 A 声级降噪量(表 2)。

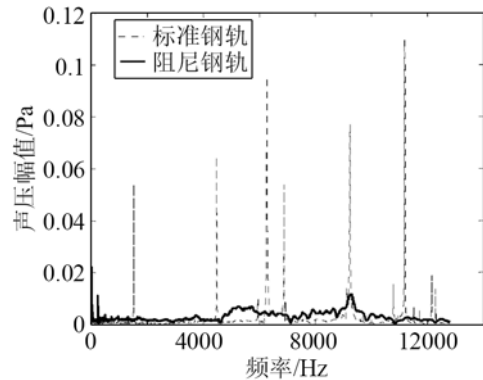


图 6 径向激励自谱分析

Fig.6 Frequency spectrum analysis in radial excitation

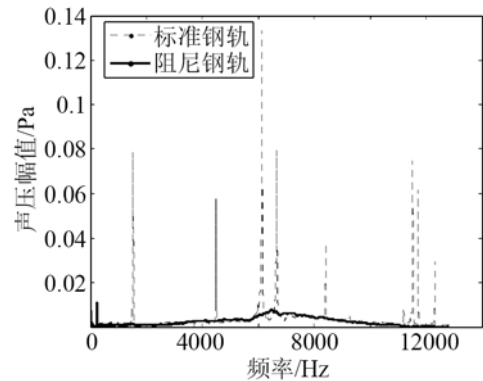


图 7 轴向激励自谱分析

Fig.7 Frequency spectrum analysis in axial excitation

由图 6、7 可以得出，在 1600 Hz 以上频段，标准钢轨的声压自功率谱的峰值存在多个，其中径向最大幅值为 0.11 Pa，轴向最大幅值为 0.13 Pa。阻尼钢轨不存在明显的峰值，径向最大的幅值仅为 0.01 Pa，轴向最大的幅值仅为 0.01 Pa，分别降低了 0.10 Pa 和 0.12 Pa，说明在高频范围内，阻尼钢轨消耗了大部分能量，显著改善了钢轨在主要频率的声辐射，具有良好的降噪效果。

由图 8、9 可得，标准钢轨的噪声能量主要集中在 1250 Hz 以上的高频段，在 1600 Hz 和 6300 Hz 处出现了明显的峰值；而阻尼钢轨在 1250 Hz 以下频段范围内噪声级未出现明显的降低，在 1250 Hz 以上频段范围内，降噪效果显著，另外跟标准钢

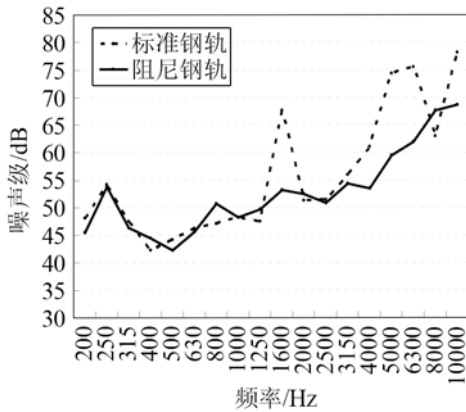


图 8 径向激励下 1/3 倍频程曲线  
Fig.8 One-third octave curve in radial excitation

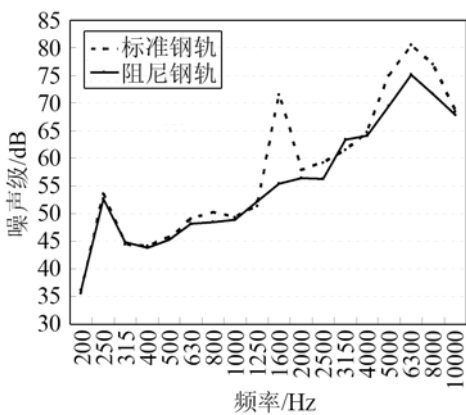


图 9 轴向激励下 1/3 倍频程曲线  
Fig.9 One-third octave curve in axial excitation

表 1 轴向激励和径向激励下阻尼钢轨噪声的总降噪量

Table 1 Total noise reduction of damping rail in radial and axial excitation

激励方式	总降噪量/dB		
	标准钢轨	阻尼钢轨	差值
径向	89.5	77.2	12.2
轴向	90.3	82.4	7.3

表 2 轴向激励和径向激励下阻尼钢轨 A 声级降噪量

Table 2 'A weighting' noise reduction of standard and damping rails in radial and axial excitation

激励方式	A 声级降噪量/dB		
	标准钢轨	阻尼钢轨	差值
径向	88.3	77.5	11.9
轴向	90.2	82.6	7.6

轨相比, 没有出现明显的峰值。研究结果说明阻尼钢轨在 1250 Hz 以下范围内降噪效果不太明显, 在 1250 Hz 以上范围内, 降噪效果显著。

由表 1、2 可知, 阻尼钢轨在径向激励下总噪声级降低了 12.2 dB, A 计权声级降低了 11.9 dB; 轴向激励下总噪声级降低了 7.3 dB, A 计权声级降低了 7.6 dB。

## 4 结论

通过本试验可以得到以下结论:

(1) 相同激励下, 阻尼钢轨声压幅值随时间迅速衰减, 并在很短的时间内衰减完毕, 衰减时间为标准钢轨的 1/16。

(2) 阻尼钢轨在 1250 Hz 以下频段范围内降噪效果不明显, 在 1250 Hz 以上频段范围内, 阻尼钢轨消耗了大部分能量, 总噪声级有很大的降低, 降噪效果显著。

(3) 迷宫式约束阻尼钢轨, 其独特的阻尼层结构能有效地降低钢轨振动所引起的噪声, 从声源上降低了钢轨的噪声, 为以后研究钢轨的降噪性能提供试验依据。

## 参 考 文 献

- [1] 陶洪敏, 宋雷鸣. 轨道结构的减振降噪技术[J]. 噪声与振动控制, 2005, 25(4): 41-43.  
TAO Hongmin, SONG Leiming. Technology of reducing noise and vibration in rail structure[J]. Noise and Vibration Control, 2005, 25(4): 41-43.
- [2] 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, (10): 1-3.  
JIANG Weikang, WAN Quan, YAN Li, et al. Constrained damping dynamic absorber stuck on a rail of urban transits[J]. Journal of Vibration and Shock, 2009, (10): 1-3.
- [3] 尹学军. 减振轨道[P]. 中华人民共和国发明专利: CN1928235, 2007-03-14. 专利受理号: 200610048318.2.  
YIN Xuejun. Damping Roadbed. The People's Republic of China invention patent: CN1928235, 2007-03-14. Patent acceptance no. 200610048318.2.
- [4] Bewes O G, Thompson D J, Jones C J C, 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.
- [5] 刘蕊, 王寅观. 利用临界折射纵波检测钢轨应力[J]. 声学技术, 2004, 23(4): 246-248.  
LIU Rui, WANG Yinguan. Rail stress measurement with critically refracted longitudinal waves[J]. Technical Acoustics, 2004, 23(4): 246-248.
- [6] 李再伟. 减振型阻尼车轮/钢轨理论与试验研究[DB/OL]. 2009-10-29, dlib.cnki.net/  
LI Zaiwei. Theoretical and experimental research on reducing vibration of damped wheels/rail[DB/OL]. 2009-10-29, dlib.cnki.net/
- [7] 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): 60-63.  
LEI Xiaoyan, ZHANG Pengfei. Experimental study on reducing the noise and vibration of damped wheels[J]. China Railway Science, 2008, 29(6): 60-63.
- [8] Rufin M, Minoru Y. Railroad noise in an open space[J]. Applied Acoustics, 1996, 49(4): 291-306.