

文章编号: 1674—8247(2018)06—0080—03

轨道交通减振降噪措施概述

袁月生 吕平 李向东 张志超

(青岛理工大学, 青岛 266033)

摘要:近年来,高速列车运行引起的环境振动和噪声问题日益突出,减振降噪迫在眉睫。减振降噪措施主要包括合理的选择车辆类型、钢轨选用及维护、扣件减振、浮置板整体道床减振以及粘弹性阻尼材料减振。文章总结了各种措施研究现状及技术特性,比较得出粘弹性阻尼材料及其约束阻尼结构在普通减振和中等减振区域优势显著,具有较高的推广和使用价值。

关键词:减振降噪; 减振扣件; 浮置板整体道床; 粘弹性阻尼材料

中图分类号: U216.42⁺2

文献标志码: A

Overview of Vibration and Noise Control Measures for Rail Transit

YUAN Yuesheng LV Ping LI Xiangdong ZHANG Zhichao

(Qingdao University of Technology, Qingdao 266033, China)

Abstract: In recent years, the environmental vibration and noise problems caused by high-speed train operation have become increasingly prominent, so it is urgent to reduce the vibration and noise. Vibration and noise reduction measures mainly include reasonable selection of vehicle types, selection and maintenance of rails, fastener damping, anti-vibration floating slab monolithic bed and viscoelastic damping materials. This paper summarizes the research status and technical characteristics of various measures, and concludes that viscoelastic damping materials and their constrained damping structures have significant advantages in common and medium vibration reduction areas, and have high popularization and application value after a series of comparison.

Key words: vibration and noise reduction; damping fastener; floating board monolithic bed; viscoelastic damping material

目前,我国很多大中型城市已经开通了高速铁路和地铁,以其准时可靠、方便快捷的优势得到社会的一致好评,更多的高速铁路和地铁线路正在规划和建设阶段,在不久的将来会成为人们出行的主要交通工具。与此同时,列车运行产生的振动和噪声对沿线居民的生活造成影响。很多城市在规划线路时,考虑振动和噪声的不良影响,不得不采取绕行或缓建的措施,增加了建设成本,影响了社会发展速度。为减小振动和噪声对环境的影响,国内外专家学者深入研究了振动和噪声的传播规律和控制措施,减振降噪已成为目前和将来的研究热点。

1 振动和噪声的传播特性

在铁路系统中,地面线路和高架线路对周围环境的影响以噪声为主,隧道线路以振动及振动引起的二次结构噪声为主,在列车转弯处尤其严重。振动和噪声原理上都属于振动,只是传播媒介不同,振动通过固体传播,而噪声通过空气传播。振动是由列车、车轮和轨道三者之间的动力相互作用产生的,并通过结构(隧道结构或桥梁结构)传递到周围的地层,诱发附近地下构筑物的二次振动^[1]。其影响因素主要包括车辆类型、轨道结构、轮轨相互作用、行车速度、隧道结构

收稿日期: 2018-04-17

作者简介: 袁月生(1991-),男,在读硕士研究生。

引文格式: 袁月生,吕平,李向东,等. 轨道交通减振降噪措施概述[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(6): 80-82.

YUAN Yuesheng, LV Ping, LI Xiangdong, et al. Overview of Vibration and Noise Control Measures for Rail Transit [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(6): 80-82.

和环境地质条件等。本文将着重介绍常用的减振降噪措施以及新兴的粘弹性阻尼材料减振降噪技术。

2 常用减振降噪措施

减振降噪可从振动源头、传播途径、受振对象三个方面进行控制。由于对受振对象进行阻隔和反向消除成本较高,且不能从根本上解决振动问题,目前主要通过控制振动源头和切断传播途径两种方式削弱振动和噪声对环境影响。常用的减振降噪措施有合理优化车辆结构、合理选择和维护钢轨、扣件减振及浮置板整体道床减振。

2.1 合理优化车辆结构

轴重较轻车辆、合理的轴距、车体减振系统、保持车轮平滑、阻尼车轮和弹性车轮可起到良好的减振降噪效果。轻型化车辆能够降低列车运行导致的周围环境振动级值。Claus 等人^[2]研究了构架轴距对列车动态性能和振动响应的影响,得出随轴距增加,构架固有频率减小,并提高了车辆运行的安全性和平稳性,综合考虑自重和共振影响,列车宜采用较大的轴距的结论^[2]。

2.2 钢轨选用与维护

钢轨的自重、接头、顺滑度和保养水平都对振动有密切的影响。沈彬然等人^[3]研究了不同重量钢轨的动力特性,得出随钢轨重量增加振动减小,在保证轨枕抗疲劳性的前提下尽量采用重型钢轨的结论。列车以相同的速度经过时,钢轨接头处的振动是非接头处的3倍,采用无缝钢轨能减小车轮对钢轨接头的冲击力,振动强度大约降低5 dB。定期打磨钢轨、保持车轮顺滑可降低滚动噪声2~6 dB,尖啸声2~5 dB,100 Hz频率以上的地面振动减小10 dB。因此,钢轨表面发现变形或裂纹时,应及时进行维修打磨处理。

2.3 扣件减振

扣件既能固定钢轨的位置,也可利用自身的弹性耗散部分能量起到减振降噪效果。目前国内外应用较多的减振扣件有先锋扣件(或称浮轨式扣件)、DT系列橡胶扣件、减振器扣件、Lord扣件等。

先锋扣件系统减振降噪效果实测表明:先锋扣件系统相对单趾弹簧扣件系统振动加速度插入损失在道床垂直方向为15.6 dB,隧道壁垂直方向为15.5 dB,隧道墙壁横向为16.3 dB。减振器扣件在80~1 000 Hz频带的减振效果可达2.9~12 dB;CJ-Ⅲ型减振扣件在大于63 Hz频率时的减振为4.8~15.9 dB;Lord扣件的综合减振效果在6.29 dB左右。

扣件使用过程中出现了一些问题,如扣件系统橡

胶材料老化、弹条折断、螺栓上浮、预埋套管内积水等,国内外多条线路中均发现减振扣件使用处钢轨波磨严重,打磨处理后还会再次出现波磨现象。因此,有待进一步研发,更高性能的减振扣件。

2.4 浮置板整体道床减振

浮置板整体道床分为橡胶浮置板整体道床和弹簧浮置板整体道床,其实质都是一个简单的“弹簧-质量”隔振系统;列车运动引起的振动经过橡胶垫或弹簧的缓冲作用后强度降低,从而降低振动对周围环境的影响。

橡胶浮置板分为点支撑、线支撑和面支撑三类,减振降噪效果达到20~30 dB。点支撑在国外应用较多,具有固有频率低、减振效果好的优点,但使用寿命短、抵抗和消除纵横向作用力较差。线支撑应用较少,它克服了点支撑的缺点,但减振效果略低于点支撑。面支撑兼具前两者的优点且施工简单,但施工成本远高于点支撑和线支撑,后期维护困难。Hussein与Hunt^[4]建立浮置板轨道有限元模型,发现相比不连续浮置板,连续的浮置板在板的共振频率处振动较小。对比橡胶减振垫与聚氨酯减振垫浮置板轨道振动控制效果,结果表明,两种减振垫浮置板轨道结构均在10 Hz左右发生共振,0~40 Hz都没有减振效果。聚氨酯减振垫减振效果较好,且减振频域更宽。

弹簧浮置板与橡胶浮置板相比具有固有频率低、可维修性好的优点,但造价高,初期投资大。相关测试表明弹簧浮置板轨道最大减振30 dB。近年来,利用数值仿真等方法对弹簧浮置板的动力特性和减振效果进行了大量研究,发现随弹簧总刚度增加,弹簧浮置板轨道基频增大,且10 Hz以上频段的振动响应最大可降低25 dB。

3 粘弹性阻尼材料减振降噪技术

粘弹性阻尼材料减振降噪频域宽,应用于航空航天、舰船、汽车等领域已有几十年,最近几年开始应用于高速铁路和地铁减振降噪领域。其作用机理是高分子材料在交变应力的作用下发生滞后并产生力学损耗,将振动机械能转化为热能的形式耗散掉。由于粘弹性阻尼材料的模量过低,一般不能作为结构材料使用,而是将它涂敷于结构表面起到减振降噪的作用,一般可分为自由阻尼结构和约束阻尼结构。适合高速铁路和地铁减振降噪使用的是约束阻尼结构,即在混凝土基层上喷涂一定厚度的粘弹性阻尼材料固化为阻尼层,再浇筑混凝土道床形成约束层,约束阻尼结构示意图如图1所示。

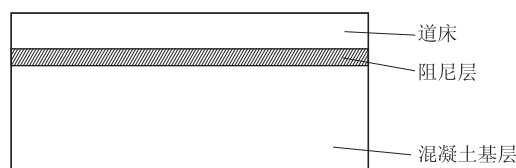


图1 约束阻尼结构示意图

在国内外,铁路桥钢梁上敷设约束阻尼层的案例非常多,振动可降低 10 ~ 15 dB^[5]。在列车车体附加粘弹性阻尼层和约束层,能增加车体的损耗因子,衰减车体弹性振动^[6]。隧道仰拱的二衬混凝土和道床之间喷涂厚 2 ~ 3 mm 的粘弹阻尼材料,减振降噪效果显著。隧道内喷涂粘弹性阻尼材料的施工示意图 2 所示。

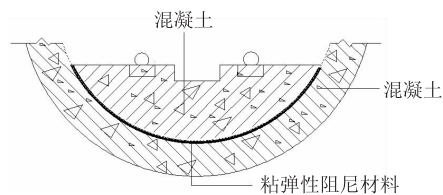


图2 隧道内喷涂粘弹性阻尼材料施工示意图

近年来,Hujare 等人^[7]研究了约束阻尼材料的厚度对振动结构模态损耗因子的影响,结果表明:阻尼层厚度在一定范围内增加减振性能增强。Khalfi 等人^[8]通过仿真技术研究矩形板局部约束阻尼的固有频率和损耗因子,得出板中粘弹性阻尼层最大剪切区域和损耗因子与变形模量之间存在的关系。Datta 等人^[9]对粘弹性材料采用分数阶导数本构关系进行复合材料层合板约束阻尼层有限元分析,对比了不同边界条件和堆叠顺序的阻尼效应。黄微波等人^[10]运用 ANSYS 分析了条形界面约束阻尼结构的振动性能,结果表明随条形界面凸起宽度的减小,比表面积的增大,条型界面约束阻尼结构的损耗因子成增大趋势,振动响应减小,阻尼性能越高。

4 结论及展望

目前,减振扣件在使用过程中出现了钢轨波磨严重、扣件系统橡胶材料老化、弹条折断、螺栓上浮、预埋套管内积水等问题,需进一步改进,且我国减振扣件大多依赖进口,拥有自主知识产权的国产扣件有待改进和研制。浮置板整体道床减振效果好,但造价高,在普通减振和中等减振区域使用性价比低,且在使用过程中有弹簧抗疲劳性不足、橡胶宜老化等问题出现,仍需不断改进。

粘弹性阻尼材料在高速铁路和地铁中的应用还处

于初级阶段,很多技术还不够成熟。研究粘弹性阻尼材料的重点应放在调节高分子材料配比和优化阻尼结构上。考虑到粘弹性阻尼层厚度可控及其性价比,用于普通减振和中等减振区域更能体现其价值。粘弹性阻尼材料减振降噪技术的大面积推广应用不仅会大大降低减振降噪成本,且符合我国绿色发展的理念,是铁路系统减振降噪最有潜力的技术。

参考文献:

- [1] 夏禾,曹艳梅. 轨道交通引起的环境振动问题[J]. 铁道科学与工程学报, 2004, 1(1): 44-51.
XIA He, CAO Yanmei. Problem of Railway Traffic Induced Vibrations of Environments [J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2004, 1(1): 44-51.
- [2] Claus H, Schiehlen W. Modeling and Simulation of Railway Bogie Structural Vibrations [J]. Vehicle System Dynamics, 1998, 29(S1): 538-552.
- [3] 沈彬然,周昌盛,曾晓辉,等. 钢轨重型化对轮轨系统动力响应及动力传递的影响[J]. 铁道建筑, 2015(11): 92-95.
SHEN Binran, ZHOU Changsheng, ZENG Xiaohui, et al. Influence of Heavy-Duty Rail on Dynamic Response and Power Transfer of Wheel-Rail System [J]. Railway Engineering, 2015(11): 92-95.
- [4] Hussein M F M, Hunt H E M. Modelling of Floating-slab Tracks with Continuous Slabs Under Oscillating Moving Loads [J]. Journal of Sound & Vibration, 2006, 297(1): 37-54.
- [5] 刘全民. 铁路结合梁桥结构噪声预测及约束阻尼层控制研究[D]. 成都: 西南交通大学, 2015.
LIU Quanmin. Prediction and Constrained Damping Layer Control of Structural Noise of Railway Combination Beam Bridge [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2015.
- [6] 黄彩虹,曾京. 基于约束阻尼层的高速客车车体弯曲振动的抑制[J]. 交通运输工程学报, 2010, 10(1): 36-42.
HUANG Caihong, ZENG Jing. Flexural Vibration Suppression of Car Body for High-speed Passenger Car Based on Constrained Damping Layers [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2010, 10(1): 36-42.
- [7] Hujare P P, Sahasrabudhe A D. Effect of Thickness of Damping Material on Vibration Control of Structural Vibration in Constrained Layer Damping Treatment [J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 592-594.
- [8] Khalfi B, Ross A. Transient and Harmonic Response of a Sandwich with Partial Constrained Layer Damping: A Parametric Study [J]. Composites Part B Engineering, 2016, 91: 44-55.
- [9] Datta P, Ray M C. Three-dimensional Fractional Derivative Model of Smart Constrained Layer Damping Treatment for Composite Plates [J]. Composite Structures, 2016, 156: 291-306.
- [10] 黄微波,李栋,冯超,等. 基于有限元分析的条型界面约束阻尼结构振动性能研究[J]. 工业建筑, 2017, 47(S1): 111-114.
HUANG Weibo, LI Dong, FENG Chao, et al. Study on Vibration Performance of Stripped Interface-Constrained Damping Structure Based on Finite Element Analysis [J]. Industrial Construction, 2017, 47(S1): 111-114.

(编辑:赵立红 张红英)