

地铁隧道内钢弹簧浮置板轨道的减振效果实测分析

黄俊飞¹ 秦佳良²

(1. 隔而固(青岛)振动控制有限公司, 266108, 青岛; 2. 华东交通大学土木建筑学院, 330013, 南昌//第一作者, 工程师)

摘要 为了研究地铁隧道内浮置板轨道的实际减振效果, 以我国某地铁线路的隧道段为研究对象, 测试了普通道床轨道、重量级和中量级浮置板轨道产生的振动响应, 分别在时域和频域内对各种轨道的振动特性进行对比分析, 并采用 Z 振级进行综合评价, 结果表明: 轨道板和隧道壁的主要响应频段在 80 Hz 附近; 重量级和中量级钢弹簧浮置板道床振动响应有 5.3 dB 的差异; 各减振断面的隧道壁振动均满足相关规范的要求。

关键词 地铁; 轨道; 钢弹簧浮置板; 插入损失; 减振效果

中图分类号 U213.2⁺42; U211.3

DOI: 10.16037/j.1007-869x.2020.01.020

On-site Measurement and Analysis of Vibration Reduction Effect of Steel Spring Floating Slab Track in Metro Tunnel

HUANG Junfei, QIN Jialiang

Abstract In order to study the actual vibration reduction effect of floating slab track in metro tunnel, a tunnel section on metro line in China is taken as the research objective. The vibration responses of ordinary track bed, heavyweight and medium-sized floating slab track are tested within a certain domain of time and frequency, the vibration characteristics of various tracks are compared and analyzed, and the Z vibration level is adopted for a comprehensive evaluation. The results show that the main response frequency bands of track slab and tunnel wall are near 80 Hz; the vibration response of floating slab bed of heavyweight and medium-weight has a 5.3 dB difference, the vibration of tunnel wall of each vibration reduction section could meet the requirements of relevant codes.

Key words metro; track; steel spring floating slab; insertion loss; vibration reduction effect

First-author's address GERB (Qingdao) Vibration Control Co., Ltd., 266108, Qingdao, China

由于地铁隧道内运行列车产生的振动会通过轨道、隧道、土体、建筑物基础等传递到地铁和建筑物, 从而会引起结构建筑物的振动并产生二次结构

噪声。这严重影响着沿线人们的日常生活和工作环境, 产生了较大的负面影响^[1]。因此, 地铁隧道内都普遍采用减振措施来降低其引起的振动响应。钢弹簧浮置板轨道结构由于其具有良好的减振效果, 已经广泛地应用在我国大部分城市的轨道交通中, 并取得了预期的减振效果^[2-3]。

钢弹簧浮置板轨道的减振原理是: 将一定质量的混凝土轨道板放置于钢弹簧的隔振器上, 利用轨道板产生的惯性力来平衡运行的列车引起的动荷载, 从而达到降低轨下结构振动响应的目的。文献[4-9]主要利用解析法和数值法对钢弹簧浮置板轨道的动力特性和减振效果进行了细致的研究。文献[10]分析了不同荷载激励作用下钢弹簧浮置板轨道的减振效果, 研究结果表明在不同荷载激励下浮置板轨道的减振效果是不一样的。此外, 现场的激励情况也较复杂, 难以准确模拟。因此为研究钢弹簧浮置板轨道的实际减振效果, 应进行现场测试。

本文以我国某地铁线路为研究对象, 通过现场测试列车经过钢弹簧浮置板轨道地段与普通轨道地段的动力响应, 对比分析均采用重量级钢弹簧浮置板轨道及中量级钢弹簧浮置板轨道的减振效果, 其研究成果可为地铁隧道的减振设计提供参考。

1 试验概况

1.1 断面选择与测点布置

结合现场地铁线路的实际情况, 选择普通道床轨道、重量级浮置板轨道和中量级浮置板轨道等 3 个测试断面。3 个断面均位于直线段, 为马蹄形隧道, 地质情况也比较类似, 测试断面都位于道床板的中部。每个断面的过车速度都约为 71 km/h。

传感器布置应按照 CJJ/T 191—2012《浮置板轨道技术规范》的要求。具体布置情况为: 在轨道板中部和距轨面 1.25 m 的隧道壁上分别布置 1 个垂向加速度传感器。图 1 为测点布置图。

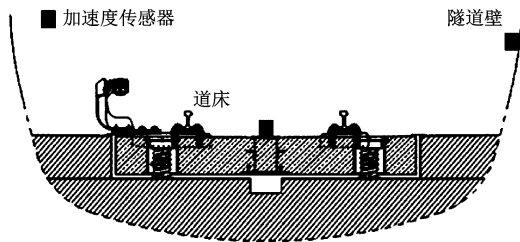


图1 测点布置图

1.2 测试仪器

现场测试使用8通道的LMS SCADAS Mobile SCM01采集系统、PCB 333B40加速度传感器。按照CJJ/T 191—2012《浮置板轨道技术规范》的要求进行测试。采样频率为1 024 Hz。图2和图3所示为加速度传感器的布置图。



图2 道床板传感器

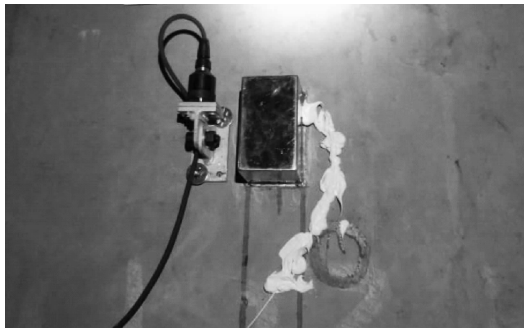
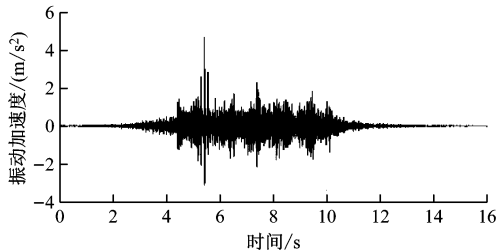
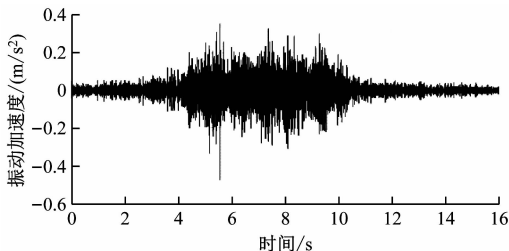


图3 隧道壁传感器

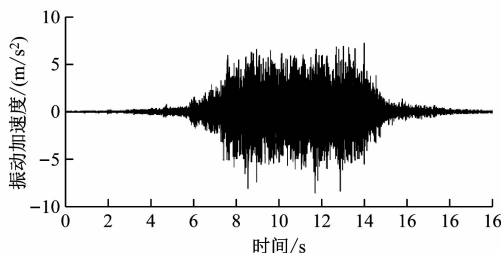


a) 道床面

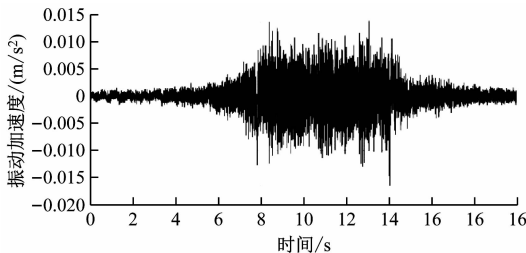


b) 隧道壁

图4 普通道床测试断面的振动加速度时程曲线图



a) 道床面



b) 隧道壁

图5 重量级浮置板道床测试断面的振动加速度时程曲线图

2 测试结果分析

2.1 时域分析

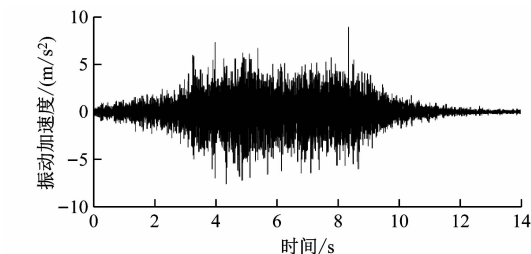
进行现场测试时,每个测试断面都分别采集多组振动数据。为消除随机干扰,仅提取其中10组效果较好的振动数据进行分析。图4~6为各测试断面的加速度时程曲线。

分析对比各个断面测点的振动加速度时程曲线,可以得出以下结论:

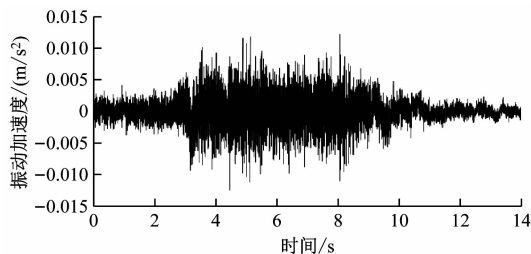
1) 隧道内普通道床轨道板的振动加速度幅值

约为 2 m/s^2 ,而重量级和中量级浮置板轨道板的振动加速度幅值分别约为 7 m/s^2 和 9 m/s^2 。这是由于浮置板轨道的隔振原理决定的,需要通过设定系统的阻尼比参数来解决浮置板道床本身的振动响应问题。

2) 普通道床轨道、重量级浮置板轨道和中量级浮置板轨道引起的隧道壁的振动加速度最大幅值分别为 0.300 m/s^2 、 0.014 m/s^2 和 0.012 m/s^2 。这表明浮置板轨道相比普通道床轨道对隧道内列车运行产生的振动响应有较好的衰减作用。



a) 道床面



b) 隧道壁

图6 中量级浮置板道床测试断面的振动加速度时程曲线图

2.2 频域分析

计算提取的从振动加速度最大幅值的1/4处开始,在大约相同的幅值处结束,并保持每组数据的时长一致。图7~9为不同测试断面加速度响应的1/3倍频程谱图。

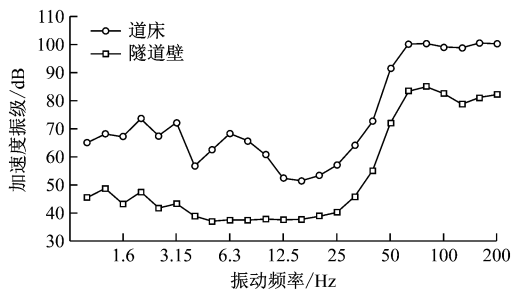


图7 普通道床和隧道壁振动加速度的1/3倍频程谱图

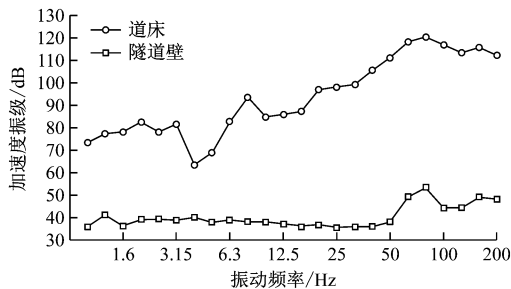


图8 中量级浮置板道床和隧道壁振动加速度的1/3倍频程谱图

由频谱图分析可知:

1) 列车在隧道内运行时,各测试断面各个测点的主要响应频段都在80 Hz附近。

2) 普通道床板、重量级和中量级浮置板道床的

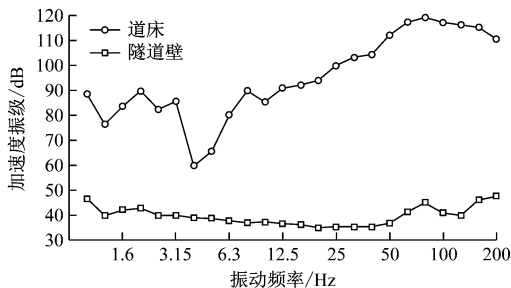


图9 重量级浮置板道床和隧道壁振动加速度的1/3倍频程谱图

最大加速度振级分别为100 dB、120 dB和85 dB;普通道床隧道壁的最大加速度振级为85 dB,重量级和中量级浮置板隧道壁的最大加速度振级分别为48 dB和53 dB。测试结果表明,重量级浮置板轨道对隧道壁的减振效果比中量级浮置板轨道好,这也符合两者的参数差异设计。

3) 对于轨道道床至隧道壁的振动差(传递损失),在低频段,重量级浮置板和中量级浮置板比较接近,但是在高频段,中量级浮置板的振动差略大于比重量级浮置板的真洞察。普通轨道道床至隧道壁的振动差是最小。

3 振动评价

根据 GB 10070—1988《城市区域环境振动标准》,以列车通过时Z振级 L_{VZ} 的算术平均值作为评价量,来对各测试断面的隧道壁加速度响应进行对标评价。得到的振动加速度级还需按 ISO 2631/1—1997规定的全身振动Z计权因子修正。Z计权曲线如图10所示。

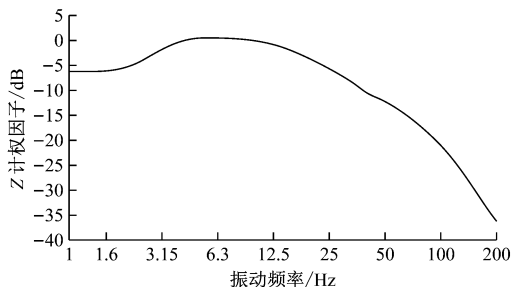


图10 Z计权的1/3倍频程曲线

Z振级计算如下:

$$L_{VZ} = 20 \lg(a_{\text{rms}}/a_0) \quad (1)$$

$$a_{\text{rms}} = \left(\sum a_{f,\text{rms}}^2 \times 10^{0.1c_f} \right)^{0.5} \quad (2)$$

式中:

a_{rms} ——振动加速度有效值, m/s^2 ;

a_0 ——基准加速度,一般取 10^{-6} m/s^2 ;
 $a_{f,\text{rms}}$ ——中心频率 f 的加速度有效值;
 c_f ——Z 计权因子,具体取值见图 10。
采用 10 组数据分别计算隧道壁 L_{Vz} ,并取其均值用来评价各测试断面的振动响应。GB 10070—1988《城市区域环境振动标准》规定,居民及文教区的夜间噪声限制值为 67 dB。

2 个浮置板轨道的测试断面相对于普通轨道的测试断面隧道壁 Z 振级的插入损失值(普通轨道隧道壁的振级与浮置板轨道的隧道壁振级的差值),可以直接反应出浮置板轨道的减振效果。表 1 中所示为各个测试断面隧道壁的振动情况。

表 1 各测试断面隧道壁振动情况		
测试断面	隧道壁 L_{Vz} /dB	L_{Vz} 的插入损失值/dB
普通道床	71.5	
重量级浮置板	50.7	20.8
中量级浮置板	56.0	15.5

由表 1 可以看出,减振道床断面隧道壁的振动响应均满足规范要求。重量级与中量级浮置板的插入损失相差 5.3 dB,符合二者的参数差异设计。

4 结论

本文通过对我国某地铁线路普通道床轨道、现浇式重量级钢弹簧浮置板轨道和现浇式中量级钢弹簧浮置板轨道等 3 个断面进行测试,对比分析了轨道板的加速度振级与隧道壁的 Z 振级,得出以下结论:

(上接第 82 页)

- 1) 增设 2、4、9 号线站台至站厅的楼扶梯设施,以增加楼扶梯口等瓶颈处的客流通行量、加强垂直运输能力,快速疏散客流。
- 2) 优化 2、4、9 号线间客流换乘的单向绕行通道,通过围栏等装置引导形成 2、4、9 号线间两两换乘的单向客流通道,以减少客流对冲。
- 3) 高峰时段关闭 6 号线站台至 2 号线的卷帘门,改造现有 6 号线站台两端的管理用房空间,使之形成更为开阔的两端绕行通道,以供由 6 号线至其他线路的换乘客流绕行,缓解高峰时段的客流拥挤。
- 4) 在 6 号线两端上方设置地面站厅出入口,以

- 1) 轨道板和隧道壁的主要响应频段在 80 Hz 附近。
- 2) 重量级和中量级钢弹簧浮置板道床的振动响应之间有 5.3 dB 的差异。
- 3) 重量级和中量级钢弹簧浮置板轨道测试断面隧道壁的振动响应均满足相关规范的要求。

参考文献

[1] 刘维宁,马蒙,刘卫丰,等.我国城市轨道交通环境振动影响的研究现状[J].中国科学:科学技术,2016,46(6):547.
[2] 张斌,王建立,王建,等.钢弹簧浮置板浸水时的减振效果实测分析[J].城市轨道交通研究,2016,19(9):75.
[3] 焦金红,黄俊飞,周宇.减振降噪型轨下基础——浮置板轨道结构[J].地铁与轻轨,2002(4):29-31.
[4] 刘维宁,丁德云,李克飞,等.钢弹簧浮置板轨道低频特征实验研究[J].土木工程学报,2011,44(8):118.
[5] LOMBAERT G, DEGRANDE G, VANHAUWERE B, et al. The control of ground-borne vibrations from railway traffic by means of continuous floating slabs[J]. Journal of Sound & Vibration, 2006, 297(3):946.
[6] 王澜,宣言,万家,等.浮置板式轨道结构隔振效果仿真研究[J].中国铁道科学,2005,26(6):48.
[7] 丁德云,刘维宁,张宝才,等.浮置板轨道的模态分析[J].铁道学报,2008,30(3):61.
[8] KUO C M, HUANG C H, CHEN Y Y. Vibration characteristics of floating slab track[J]. Journal of Sound & Vibration, 2008, 317(3):1017.
[9] 丁德云,刘维宁,张宝才,等.特殊浮置板轨道隔振效果的三维数值研究[J].铁道学报,2009,31(6):58.
[10] 李林峰,马蒙,刘维宁,等.不同激励作用下钢弹簧浮置板轨道减振效果研究[J].工程力学,2018,35(增刊1):253.

(收稿日期:2018-12-17)

连通 A、B 两个站厅,并在高峰时段通过引导进站客流直接进入客流压力较小的 B 厅乘坐 2、4、9 号线。

参考文献

[1] 上海申通地铁集团有限公司.上海申地铁集团运营管理平台票务清分数据库[DB].上海:上海申通地铁集团有限公司,2018.
[2] 刘纯洁,于宁.世纪大道换乘枢纽的建设和管理[J].中国市政工程,2009(5):48.
[3] 李斌,陈晔,秦丹尼.上海轨道交通枢纽站路径探索研究[J].建筑学报,2010(增刊2):129.

(收稿日期:2018-07-30)