

文章编号:1006-1355(2019)01-0136-04

成都地铁钢弹簧浮置板道床减振性能分析

韩艺翬¹, 贺玉龙¹, 李怀龙²

(1. 西南交通大学 地球科学与环境工程学院, 成都 611756;

2. 西南交通大学 土木工程学院, 成都 610031)

摘要:为评价成都地铁钢弹簧浮置道床的实际减振效果,选取线路条件基本相同的断面,分别对圆形盾构隧道直线段和曲线段的钢弹簧浮置板道床以及对应的普通整体式道床进行现场测试。在时域和频域内分析钢弹簧浮置板道床减振段隧道壁垂向振动特性与实际减振效果。结果表明:(1)在圆形隧道直线段和曲线段中运用钢弹簧浮置板道床均可对隧道壁振动起到很好的减振作用,隧道壁减振效果分别为22.16 dB和19.15 dB;(2)直线段和曲线段钢弹簧浮置板轨道的显著减振频率范围分布为25 Hz~200 Hz和40 Hz~200 Hz,但均在6.3 Hz~16 Hz表现出振动放大现象。

关键词:振动与波;地铁;钢弹簧浮置板;现场振动测试;减振效果

中图分类号:U491.9³;X593

文献标志码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2019.01.026

Analysis of the Vibration Reduction Performance of Steel Spring Floating Slab Track Bed of Chengdu Metro

HAN Yihui¹, HE Yulong¹, LI huailong²

(1. Faculty of Geosciences and Environmental Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China;

2. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: In order to evaluate the vibration reduction effect of the steel spring floating slab track bed of Chengdu metro, the in-situ vibration measurements of the steel spring floating slab track and the corresponding traditional track are carried out respectively at the straight section and curved section in the circular shield tunnel under the same line condition. The vertical vibration characteristics of the tunnel wall and the actual vibration reduction effect of the steel spring floating slab track are analyzed in both time domain and frequency domain. The results show that the steel spring floating slab has good vibration reduction effects for tunnel wall in both the straight section and the curved section of the circular tunnel. The vibration reduction effect of the steel spring floating slab reaches up to 22.16 dB at the straight section and 19.15 dB at curved section respectively. The significant vibration reduction frequency range varies from 25 Hz to 200 Hz for the straight section and 40 Hz to 200 Hz for the curved section. However, the vibration amplification is shown in the range from 6.3 Hz to 16 Hz.

Keywords: vibration and wave; metro; steel spring floating slab; in-situ vibration measurement; vibration reduction effect

截至2017年底,成都市地铁已开通1、2、3、4、7、10号线,运营里程达180 km。地铁在给人们带来方便的同时,也产生了负面的环境影响,特别是噪声、振动的影响较为突出,一直以来备受关注。目前已开通的大部分地铁线路在城区段沿线均有学校、医

院、机关单位、居民住宅等环境振动敏感目标,地铁运行产生的振动对这些敏感区域居民的正常工作和生活产生诸多影响,部分线路振动(含二次结构噪声)影响较大,扰民投诉事件时有发生。

国内北京、上海、广州、杭州、西安等城市地铁在特殊减振地段铺设了大量的钢弹簧浮置板轨道,取得了较好的减振降噪效果^[1-6]。在国外轨道交通中钢弹簧浮置板轨道也有较多的应用实例^[7-8]。

成都地铁1、2、3、4、7号线在特殊减振地段共铺设钢弹簧浮置板轨道28.3 km。本文针对成都地铁某号线特殊减振地段采用的钢弹簧浮置板道床进行现场测试,在时域和频域内对比普通道床和钢弹簧

收稿日期:2018-03-19

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51608460);

四川省科技计划资助项目(2018JY0328)

作者简介:韩艺翬(1993-),男,安徽省宿州市人,硕士研究生,

主要研究方向为轨道交通环境振动。

通信作者:贺玉龙(1975-),男,河南省偃师市人,博士,教授,

研究方向为轨道交通环境振动与噪声。

E-mail: yulonghe@163.com

浮置板轨道测试断面隧道壁的垂向振动加速度值,分析钢弹簧浮置板道床的实际减振效果。

1 现场测试

测试线路运营车辆采用B型车6辆编组,最高运行速度:80 km/h。隧道结构形式为圆形盾构隧道,所处地层为富水砂卵石层。

1.1 测试仪器

测试采用INV3060A型智能数据采集系统,可进行16通道采样,采样精度16位。拾振器为压电式加速度传感器,量程为5 g,灵敏度在0.987 V/g~1.004 V/g,频率范围0.2 Hz~1 000 Hz,采样频率为1 024 Hz。

1.2 测试断面

测试主要参照CJJ/T 191-2012《浮置板轨道技术规范》^[9]要求,选取线路条件:线路曲线半径、道床类型、隧道断面、运行速度基本相同。

测试选择钢弹簧浮置板道床地段进行,包括直线段和曲线段。对每一处钢弹簧浮置板道床地段,均在条件相似的相邻地段选择普通整体式道床作为参照,进行对比测试。测试断面如表1所示。

表1 测试断面概况

断面编号	轨道减振	平面	隧道	车速/	
分组	隧道类型	方式	线型	类型	(km·h ⁻¹)
1	圆形隧道	普通道床	直线	盾构	67.5
	圆形隧道	特殊减振	直线	盾构	65.1
2	圆形隧道	普通道床	曲线	盾构	66.8
	圆形隧道	特殊减振	曲线	盾构	68.2

所选测试断面轨道状况良好,没有可见的裂纹和波浪型磨耗。

1.3 测点布置

在距离轨面高度1.25 m隧道壁上布置1个垂向加速度传感器,拾振器安装牢固,拾振器的灵敏度主轴方向保证铅垂向。每一组普通道床与钢弹簧浮置板道床对应的断面测点,在列车通过时同时进行测试。

2 减振效果评价方法

参照CJJ/T191-2012《浮置板轨道技术规范》^[9]要求,通过对钢弹簧浮置板道床地段与相邻普通整体式道床地段垂向振动加速度级对比,分析钢弹簧浮置板轨道的实际减振效果。

减振效果的评价指标计算的量为钢弹簧浮置板轨道与普通整体道床比较时分频振级均方根的差值 ΔL_a 、分频振级的最大差值 ΔL_{\max} 和最小差值 ΔL_{\min} 。

计算公式如下所示^[8]

$$\Delta L_a = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{VL_q(i)}{10}} \right) - 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{VL_h(i)}{10}} \right) \quad (1)$$

$$\Delta L_{\max} = \max_{i=1 \rightarrow n} [VL_q(i) - VL_h(i)] \quad (2)$$

$$\Delta L_{\min} = \min_{i=1 \rightarrow n} [VL_q(i) - VL_h(i)] \quad (3)$$

式中: $VL_{q(i)}$ ——选择没有采取浮置板轨道的地段为参照系,其轨旁测点铅垂向振动加速度在1/3倍频程第*i*个中心频率的分频振级(dB);

$VL_h(i)$ ——采取浮置板轨道的地段,其轨旁测点铅垂向振动加速度在1/3倍频程第*i*个中心频率的分频振级(dB)。

城市轨道交通引起沿线环境的振动主要由200 Hz以下的振动组成,因此减振效果测量评价频率范围为1 Hz~200 Hz。

3 测试结果分析

3.1 圆形盾构隧道直线段测试结果分析

提取10组圆形盾构隧道直线段隧道壁垂向振动加速度的测试数据以消除随机干扰。

图1、图2分别为直线段普通整体道床断面和钢弹簧浮置板道床断面典型加速度时程曲线图。

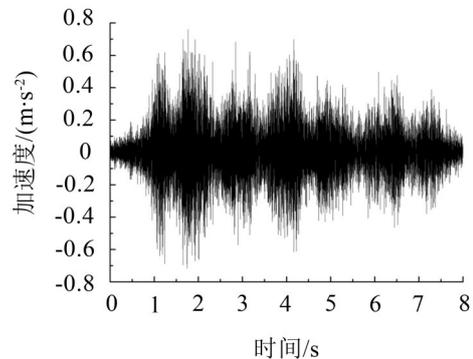


图1 直线段普通整体道床断面隧道壁典型加速度时程

直线段钢弹簧浮置板道床测试断面和普通整体道床测试断面的隧道壁垂向振动加速度峰值分别为0.141 85 m/s²和0.759 89 m/s²,有效值分别为0.029 21 m/s²和0.132 33 m/s²。

直线段普通整体道床测试断面和钢弹簧浮置板道床测试断面的隧道壁垂向振动加速度频谱曲线如图3、图4所示。

由图3可知,直线段普通整体道床测试断面隧道壁垂向加速度频谱峰值主要分布在65 Hz~80 Hz。由图4可知,直线段钢弹簧浮置板道床测试断面隧道壁垂向加速度频谱峰值主要分布在80 Hz~110 Hz。

在频域内,对圆形隧道直线段的测试断面采用1/3倍频程进行分析,结果如图5所示。

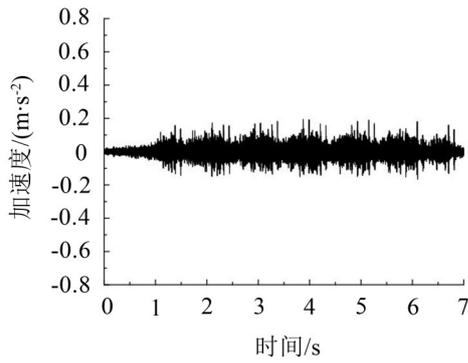


图2 直线段钢弹簧浮置板断面隧道壁典型加速度时程

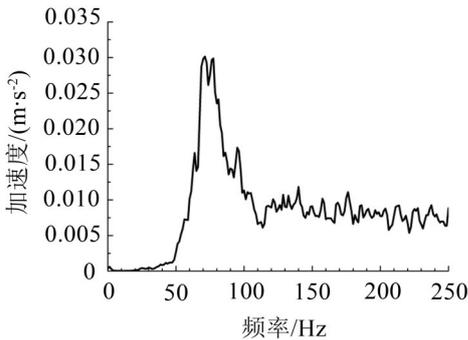


图3 直线段普通整体式道床断面隧道壁典型频谱图

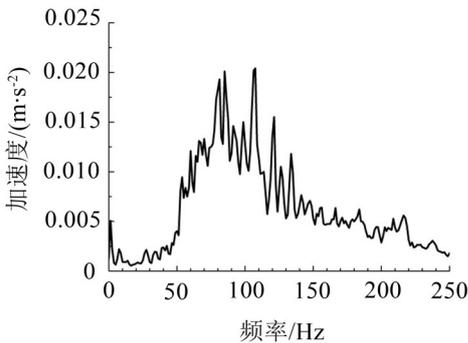


图4 直线段钢弹簧浮置板床断面隧道壁典型频谱图

由图5可知,直线段普通道床隧道壁高频最大振级为76.88 dB(中心频率为80 Hz),直线段钢弹簧浮置板轨道隧道壁高频最大振级为52.87 dB(中心频率为80 Hz)。相对于直线段普通道床轨道,直线段钢弹簧浮置板轨道隧道壁减振范围在1 Hz~5 Hz和20 Hz~200 Hz范围。

其中,1 Hz~5 Hz范围减振效果不明显,25 Hz~200 Hz范围减振效果显著,特别是40 Hz~200 Hz范围分频减振效果在13 dB以上。但在6.3 Hz~16 Hz范围出现了振动放大现象,尤其是在8 Hz中心频率处,振动放大了13.05 dB。这与刘维宁等人^[10]“钢弹簧浮置板轨道在基频附近存在振动放大现象”的试验结果是一致的。

根据式(1)~(3)计算,圆形隧道直线段隧道壁分频振级均方根(1 Hz~200 Hz)的差 ΔL_a 为22.16 dB,分频振级的最大差值 ΔL_{max} 为24.13 dB(中心频率

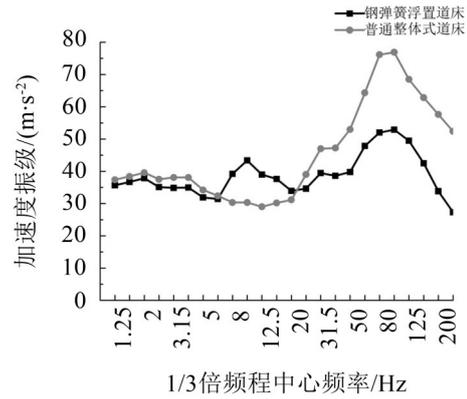


图5 直线段隧道壁典型振动加速度级1/3倍频程频谱对比(为63 Hz),最小差值 ΔL_{min} 为-13.05 dB(中心频率为8 Hz)。

3.2 圆形盾构隧道曲线段测试结果分析

图6、图7分别为曲线段普通整体道床断面和钢弹簧浮置板道床断面典型加速度时程曲线图。

曲线段钢弹簧浮置板道床测试断面和普通整体道床测试断面的隧道壁垂向振动加速度峰值分别为0.252 92 m/s²和0.766 35 m/s²,有效值分别为0.046 16 m/s²和0.113 79 m/s²。

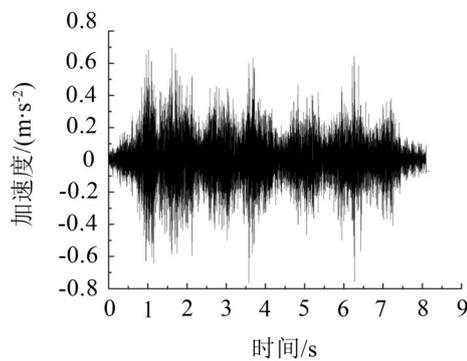


图6 曲线段普通整体道床断面隧道壁典型加速度时程

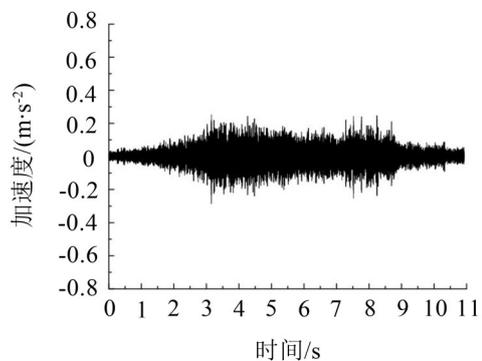


图7 曲线段钢弹簧浮置板断面隧道壁典型加速度时程

图8、图9、图10分别为曲线段普通整体道床断面、钢弹簧浮置板道床断面典型加速度时程频谱曲线图和曲线段隧道壁典型振动加速度级1/3倍频程频谱对比图。

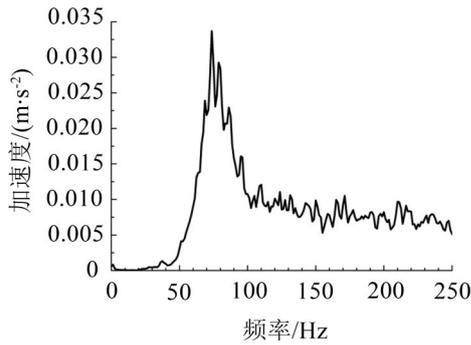


图8 曲线段普通整体式道床断面隧道壁典型频谱图

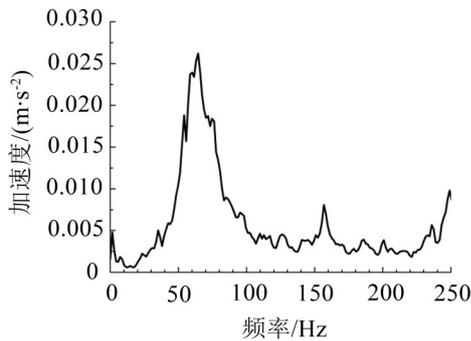


图9 曲线段钢弹簧浮置板断面隧道壁典型频谱图

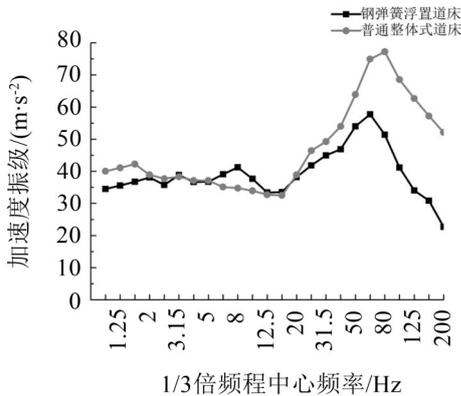


图10 曲线段隧道壁典型振动加速度级1/3倍频程频谱对比

由图8可知,曲线段普通道床轨道隧道壁分频最大振级为77.82 dB(中心频率为80 Hz),曲线段钢弹簧浮置板轨道隧道壁分频最大振级为57.74 dB(中心频率为63 Hz)。曲线段普通整体式道床隧道壁垂直加速度频谱峰值主要分布在60 Hz~80 Hz。由图9可知,曲线段钢弹簧浮置板断面隧道壁铅垂直加速度频谱峰值主要分布在70 Hz~85 Hz。

由图10可知,相对于曲线段普通道床轨道,曲线段钢弹簧浮置板轨道隧道壁减振范围在1 Hz~5 Hz和20 Hz~200 Hz范围。1 Hz~5 Hz范围减振效果不明显,40 Hz~200 Hz范围减振效果显著,特别是50 Hz~200 Hz范围分频减振效果在10 dB以上。但在6.3 Hz~16 Hz范围出现了振动放大现象,尤其是在8 Hz中心频率处,振动放大了6.47 dB。

计算表明,圆形隧道曲线段隧道壁分频振级均方根(1 Hz~200 Hz)的差 ΔL_a 为19.15 dB,分频振级的最大差值 ΔL_{\max} 为29.38 dB(中心频率为200 Hz),最小差值 ΔL_{\min} 为-6.47 dB(中心频率为8 Hz)。

4 结语

根据成都地铁某号线盾构隧道内钢弹簧浮置板道床和普通整体式道床在圆形直线段和圆形曲线段的隧道壁实测振动加速度测试结果,对钢弹簧浮置板的减振效果进行分析,结果表明:

(1) 钢弹簧浮置板在圆形盾构隧道直线段和曲线段均起到了降低隧道壁振动加速度幅值的作用。

(2) 与普通道床相比,钢弹簧浮置板的减振效果在圆形盾构隧道直线段与曲线段分别为22.16 dB和19.15 dB。

(3) 钢弹簧浮置板的有效减振频率范围在20 Hz~200 Hz之间,直线段的显著减振频率范围为25 Hz~200 Hz,曲线段的显著减振频率范围为40 Hz~200 Hz。

参考文献:

- [1] 李克飞,刘维宁,孙晓静,等.北京地铁5号线地下线减振措施现场测试与分析[J].*铁道学报*,2011,33(4):112-118.
- [2] 孙成龙,高亮.北京地铁5号线钢弹簧浮置板轨道减振效果测试与分析[J].*铁道建筑*,2011,(4):110-113
- [3] 张莉,刘鹏辉,杨宜谦,等.杭州地铁1号线浮置板轨道减振效果对比分析[J].*铁道建筑*,2013,(10):8-83
- [4] 刘鹏辉,杨宜谦,尹京.地铁隧道内不同轨道结构振动测试与分析[J].*振动与冲击*,2014,33(2):31-36.
- [5] 涂勤明,雷晓燕,毛顺茂.地铁产生的环境振动及轨道结构减振分析[J].*噪声与振动控制*,2014,34(4):178-186
- [6] 康佐,董霄,郑建国,等.钢弹簧浮置板道床在西安地铁中减振效果分析[J].*地震工程学报*,2015,37(2):372-376.
- [7] AK VOGIATZIS. On environmental ground borne noise & vibration abatement by implementing floating slabs at athens metro network - measurements campaign results[J].*Wseas transactions on environment and development*, 2011, 7(11): 359-370
- [8] DERE Y. Effectiveness of the floating slab track system constructed at Konya Light Rail[J].*Measurement*, 2016, 89: 48-54.
- [9] 中华人民共和国行业标准. CJJ/T 191-2012 浮置板轨道技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [10] 刘维宁,丁德云,李克飞,等.钢弹簧浮置板轨道低频特征试验研究[J].*土木工程学报*,2011,44(8):118-125.