

钢轨谐振式浮轨扣件动态变形及减振降噪性能分析

徐 宁 曾 飞 李 强 王彦飞 王志强

(洛阳双瑞橡塑科技有限公司, 471003, 洛阳//第一作者, 工程师)

摘 要 选用谐振式浮轨扣件对西安地铁1号线某区段原有DTV12扣件进行改造。测试分析了改造前后的轨道动态变形、轨道振动、敏感建筑物振动及二次辐射噪声变化水平。测试结果表明, 谐振式浮轨扣件的轨道变形满足轨道线路安全要求, 与DTV12扣件的轨道相比, 道床及隧道壁的振动水平降低至9~13 dB(Z), 地面振动降低7.3 dB(Z), 二次辐射噪声降低4.1 dB(A), 表明谐振式浮轨扣件具有较好的减振降噪效果。

关键词 西安地铁; 浮轨扣件; 轨道振动; 减振降噪

中图分类号 U213.2⁺44

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.05.026

Analysis of Resonant Floating Rail Fastener Dynamic Deformation and Vibration Noise Reduction Effect

XU Ning, ZENG Fei, LI Qiang, WANG Yanfei, WANG Zhiqiang

Abstract A section on Xi'an metro Line 1 adopts resonant floating rail fastener to reform the original fastener. The track deformation, vibration of the track system, vibration of sensitive buildings and the change of secondary radiation noise level before and after the reform are tested and analyzed. The testing results show that the deformation of track that adopts resonant floating rail fastener could meet the requirements of track safety. Compared with the DTV12 fastener, the vibration level of the slab and the tunnel wall is reduced by 9~13 dBZ, the ground vibration is reduced by 7.3 dBZ, and the secondary radiation noise is reduced by 4.1 dB(A). All this proves that the resonant floating rail fastener has better vibration and noise reduction effect.

Key words Xi'an metro; floating rail fastener; track vibration; vibration and noise reduction

Author's address Luoyang Shuangrui Rubber & Plastic Science and Technology Co., Ltd., 471003, Luoyang, China

城市轨道交通引起的振动, 主要由车辆运行时轮轨间相互撞击所产生, 由钢轨通过扣件和道床传

递至隧道, 并传向大地而引发附近地面建筑物的振动。轨道结构是振动传播途径中的一个重要环节, 直接影响周边结构的振动响应。以振源和传递途径为对象研究地铁的减振性能较为合理, 也是最有效的方法之一^[1-3]。

西安地铁1号线DK31+060至DK31+240为缓和曲线和圆曲线区间段, 圆曲线半径 R 为450 m, 上行线为道床减振垫轨道结构, 下行线为DTV12扣件普通道床轨道结构。该区段上方为某小区居民住宅, 列车运营时振动噪声干扰了居民的正常生活。为此, 选用谐振式浮轨扣件对下行线该区段进行更换改造。

谐振式浮轨扣件主要由橡胶弹性楔块、支撑侧板、锁紧楔块、绝缘防撞垫板、绝缘耦合垫板等组成。该扣件中的橡胶支撑楔块内设置谐振质量单元, 借助橡胶支撑楔块的弹性层形成动力吸振器结构, 系将动力吸振和扣件隔振技术进行了集成。通过设计谐振质量单元和弹性体的动力吸振结构, 可在特定频段产生谐振效应, 将钢轨振动能量转换为内能, 从而减少向轨道的振动传递, 提高了扣件隔振效果^[4]。

为考察分析浮轨扣件在列车运营过程中的安全性能和减振降噪效果, 在改造前后同一测点DK31+130处, 测试分析轨道动态变形及振动情况, 同时测试分析敏感建筑物振动及二次辐射噪声变化水平。

1 钢轨扣件

西安地铁1号线钢轨DTV12扣件的静刚度约为40 kN/mm, 浮轨扣件刚度约为5~8 kN/mm; 两种扣件防爬阻力 ≥ 11.5 kN, 适用于60 kg/m钢轨的隧道内线路, 以及U型结构和地面枕式整体道床等多种工况。两种钢轨扣件如图1所示。



a) DTVI2 扣件



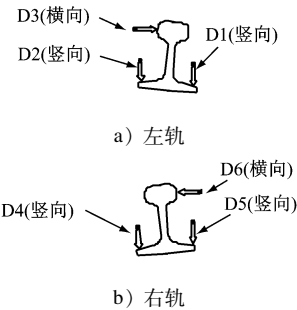
b) 浮轨扣件

图1 西安地铁1号线两种钢轨扣件

2 动态测试点布置

2.1 轨道动态变形测试

轨道动态变形即轨道在列车运行过程中的变形状况,包括钢轨竖向变形、扭转变形和轨头横向变形,体现了钢轨下沉量、轨距动态变化等安全性能。变形通过位移传感器进行测量,测点位于相邻扣件跨距的 1/2 横截面处,如图 2 所示。



注: ▮ -位移传感器; D 为测点

图2 轨道动态变形测试传感器布点

2.2 轨道振动测试

以传递路径为参考,轨道振动测试包括钢轨振动、道床振动和隧道壁振动,其测点与图 2 为同一横截面测布置,如图 3 所示。其中,振动包括竖向振动和横向振动。

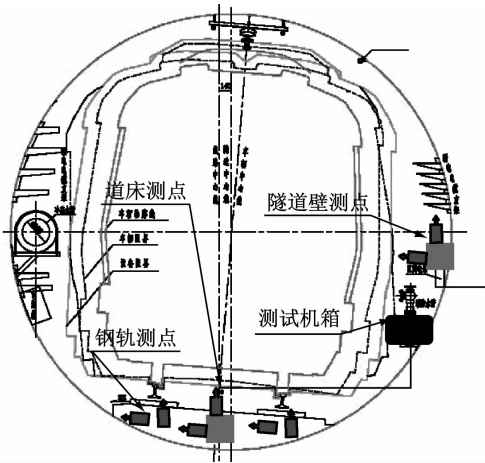


图3 轨道振动测点传感器及设备安装位置

2.3 敏感建筑物振动及二次辐射噪声测试

某小区敏感建筑物的测点布置如图 4 所示。

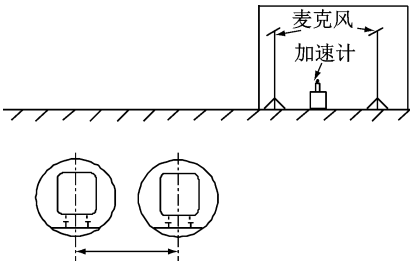


图4 敏感建筑物测点示意图

3 测试结果分析

3.1 轨道动态变形分析

在车辆正常运营下进行,分别针对每辆车的导向轴和从动轴进行轨道动态变形分析,其中行车速度可通过位移变形记录的信号进行计算。分别选取早、中、晚 3 个时段的数据进行处理。改造前 DT-VI2 扣件区段和改造后浮轨扣件区段轨道变形数据如表 1 和表 2 所示,同时求得改造前后列车途经该测点运行速度分别为 70.5 km/h 和 70.9 km/h。

表 1 DTVI2 扣件区段钢轨动态变形 mm					
项目	竖向变形		横向变形		扭转变形
	右轨	左轨	右轨	左轨	右轨 左轨
导向轴	-0.31	-0.34	0.03	0.19	0.04 0.28
从动轴	-0.29	-0.35	0.02	-0.01	0.05 0.02

注:竖向变形负值,表示钢轨相对道床下沉,正值反之;
扭转变形负值,表示钢轨相对轨道中心向外转动,正值反之;
横向变形负值,表示钢轨动态轨距扩大,正值反之

表 2 浮轨扣件区间钢轨动态变形/mm						
项目	竖向变形		横向变形		扭转变形	
	右轨	左轨	右轨	左轨	右轨	左轨
导向轴	-2.51	-2.61	0.16	0.35	0.12	0.85
从动轴	-2.50	2.88	0.15	0.00	0.19	0.01

注:竖向变形负值,表示钢轨相对道床下沉,正值反之;
扭转变形负值,表示钢轨相对轨道中心向外转动,正值反之;
横向变形负值,表示钢轨动态轨距扩大,正值反之

分析可知,浮轨扣件区段钢轨下沉量、钢轨横向变形和扭转变形均大于 DTVI2 扣件区段,其中最大变形量为浮轨扣件区段,钢轨竖向变形平均值为 2.62 mm,以上数据均低于铁运[2006]146 号《铁路线路维修规则》中轨道动态质量容许偏差管理值,表明浮轨扣件能够保证列车在运行中的安全性能。

3.2 轨道振动分析

3.2.1 钢轨振动分析

图 5 和图 6 分别为改造前 DTVI2 扣件和改造后浮轨扣件区段钢轨速度振动级 1/3 倍频程频谱图。表 3 为两种扣件区段钢轨速度总振动级,计算带宽 12.5 ~ 2 500 Hz。图中“浮轨左轨竖向”代表浮轨扣件区段左轨竖向振动,其它类同。

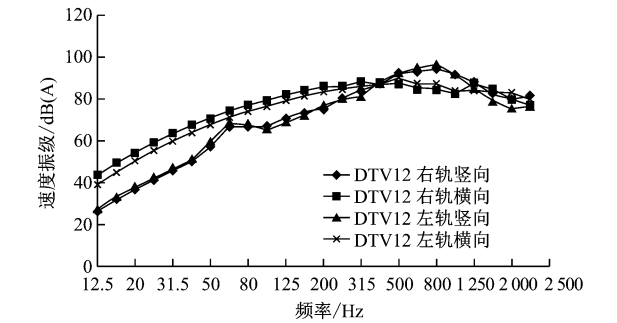


图 5 改造前钢轨振动 1/3 倍频程频谱图

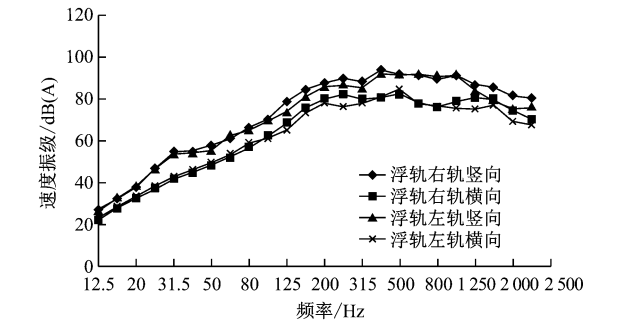


图 6 改造后钢轨振动 1/3 倍频程频谱图

由 3.1 可知,两种扣件区段车速相同,因此振动数据不需修正。图 5 中 DTVI2 扣件右、左轨间的竖

向振动和横向振动均相差不大,横向振动在 400 ~ 1 250 Hz 频段外均高于竖向振动。图 6 中浮轨扣件右、左轨间的竖向振动和横向振动均相差不大,但竖向振动在整个频段内均高于横向振动,同时在 200 ~ 1 600 Hz 频带内竖向、横向振动曲线相对平缓。由表 3 可知,浮轨扣件区段钢轨速度总振动级略大于 DTVI2 扣件区段,原因是浮轨扣件的钢轨下沉变形较大。

表 3 钢轨速度总振动级/dB(A)			
扣件类型	左轨		右轨
	竖向	横向	竖向 横向
DTVI2 扣件	100.9	96.9	100.1 97.0
浮轨扣件	101.2	97.4	100.0 98.1

3.2.2 道床振动分析

图 7 为改造前 DTVI2 扣件和改造后浮轨扣件区段道床加速度振动 1/3 倍频程频谱图。表 4 为两种扣件区段道床加速度总振动级,计算带宽 1.25 ~ 80 Hz。

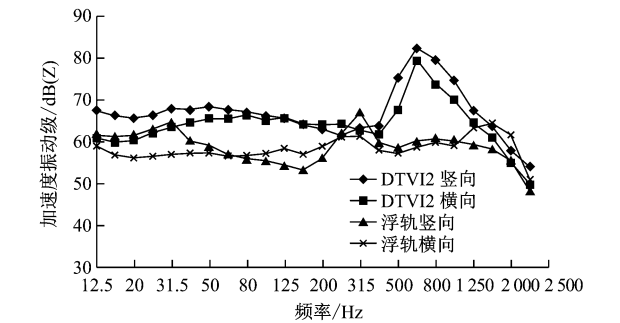


图 7 改造前后道床振动 1/3 倍频程频谱图

表 4 道床加速度总振动级/dB(Z)		
扣件类型	竖向振动	横向振动
DTVI2 扣件	85.7	82.1
浮轨扣件	73.8	71.0

同理,两种扣件区段道床振动数据不需修正。整体上 DTVI2 扣件区段道床竖向振动和横向振动大于浮轨扣件区间道床振动,且 DTVI2 扣件固有频率为 63 Hz,浮轨扣件为 31.5 Hz。由表 4 可知,改造后道床竖向振动降低 11.9 dB(Z),横向振动降低 11.1 dB(Z)。

3.2.3 隧道壁振动分析

图 8 为改造前 DTVI2 扣件和改造后浮轨扣件区段隧道壁加速度振动 1/3 倍频程频谱图。表 5 为

两种扣件区段隧道壁加速度总振动级,计算带宽 1.25 ~ 80 Hz。

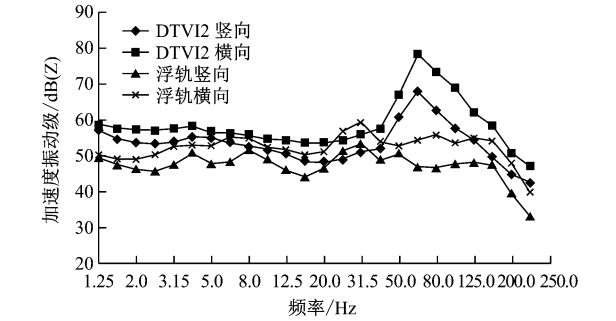


图 8 改造前后隧道壁振动 1/3 倍频程频谱图

表 5 隧道壁加速度总振动级 dB(Z)

扣件类型	竖向振动	横向振动
DTVI2 扣件	71.1	80.1
浮轨扣件	61.9	66.7

改造前后车速基本不变,因此数据无需修正。在图 8 中,整体上 DTVI2 扣件区段隧道壁竖向振动和横向振动大于浮轨扣件区段隧道壁振动,同时,受线路曲线影响,两种扣件区段的横向振动均高于竖向振动。受扣件固有频率影响,DTVI2 扣件和浮轨扣件分别在 31.5 Hz 和 63 Hz 出现共振峰值。由表 5 可得,改造后隧道壁竖向振动降低 9.2 dB(Z),横向振动降低 13.4 dB(Z)。

3.3 敏感建筑物振动及二次辐射噪声分析

图 9 和图 10 分别为改造前后敏感建筑物地面竖向振动和二次辐射噪声 1/3 倍频程频谱图。表 6 为改造前后加速度总振动级和总声压级,其中振动 Z 计权处理时,计算带宽为 1.25 ~ 80 Hz,总声压级 A 计权处理时,计算带宽为 12.5 ~ 2 500 Hz。

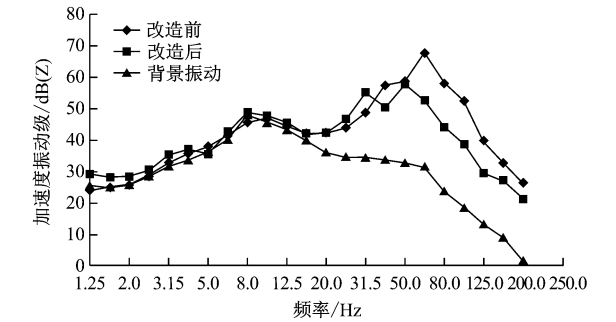


图 9 改造前后地面振动 1/3 倍频程频谱图

由图 9 可知,在 20 ~ 200 Hz 频带内,改造后振动低于改造前振动。图 10 中,在 12.5 ~ 200 Hz 内,改造后敏感建筑物室内二次辐射噪声低于改造前

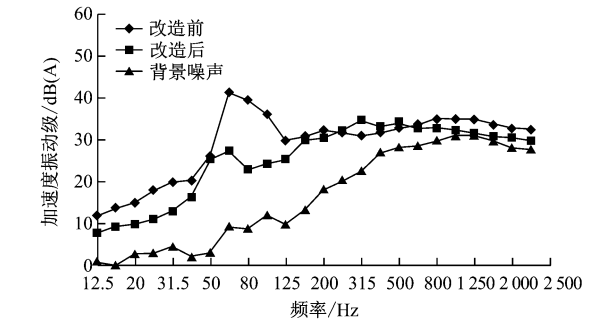


图 10 改造前后二次辐射噪声 1/3 倍频程频谱图

表 6 列车运行时敏感建筑物振动情况

振动类别	改造前	改造后	背景值
总振动级/dB(Z)	69.1	61.8	52.3
总声压级/dB(A)	47.8	43.7	39.1

数据。由表 6 可知,改造前后敏感建筑物竖向振动减少 7.3 dB(Z)、二次辐射噪声减小 4.1 dB(A)。

4 结论

(1) 改造后浮轨扣件区段钢轨下沉量、钢轨横向变形和扭转变形均大于改造前 DTVI2 扣件区段钢轨下沉量,其中最大变形量为浮轨扣件区段钢轨竖向变形(2.62 mm),各变形数据均低于国家铁路线路维修的 6 mm 标准,表明浮轨扣件在列车运行过程中具有较好的安全性能。

(2) 相对于改造前 DTVI2 扣件区段道床和隧道壁振动,改造后浮轨扣件区段道床振动竖向降低 11.9 dB(Z),横向降低 11.1 dB(Z),隧道壁竖向振动降低 9.2 dB(Z),横向振动降低 13.4 dB(Z),表明浮轨扣件具有良好的减振效果。

(3) 采用浮轨扣件改造后,敏感建筑物竖向振动减小 7.3 dB(Z),二次辐射噪声减小 4.1 dB(A),表明浮轨扣件具有良好的减振降噪效果。

参考文献

[1] 练松良,刘卫星. 轨道垫层振动特性的试验研究[J]. 城市轨道交通研究,2001(4):9.

[2] 刘加华,练松良. 城市轨道交通振动与噪声[J]. 交通运输工程学报,2002,3(1):29.

[3] 温玉君. 城市轨道交通系统的减振降噪措施[J]. 城市轨道交通研究,2005(6):77.

[4] 徐宁,王志强等. 谐振式浮轨扣件减振性能测试研究[J]. 材料开发与应用,2014,6(6):22.

(收稿日期:2017-08-06)