

文章编号:1006-1355(2019)03-0103-04

# 减振轨道结构对地铁车内振动与噪声的影响

夏放, 王安斌

(上海工程技术大学 城市轨道交通学院, 上海 201620)

**摘要:**针对减振轨道结构车内振动与噪声比较明显的现象,对国内某一地铁线路不同轨道结构下的车内振动与噪声进行现场测量与分析。试验结果表明,Z计权方式下的钢弹簧浮置板轨道减振结构的车内垂向与横向振动分别比普通轨道结构高7.46 dB和0.57 dB,A计权方式下的车内噪声相比增加9.71 dB;GJ-32扣件型减振轨道结构的车内垂向与横向振动分别比普通轨道结构高4.94 dB和2.88 dB,车内噪声增加8.71 dB。通过对试验数据的倍频程和FFT的分析发现,车内的低频噪声主要出现在钢弹簧轨道结构上,400 Hz~700 Hz的中频噪声主要出现在GJ-32型减振扣件轨道结构上。由此得出结论,减振轨道结构可能是导致车内振动与噪声异常的一个重要因素。

**关键词:**振动与波;减振轨道结构;钢弹簧;减振扣件

中图分类号:U239.5

文献标志码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2019.03.020

## Influence of Vibration Reduction Track Structures on Vibration and Noise in Metro Vehicles

XIA Fang, WANG Anbin

(School of Urban Rail Transit, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

**Abstract:** The vibration and noise of the vehicles with different track structures of a metro line are measured and analyzed. The results show that the Z-weighted longitudinal and horizontal vibrations of the steel spring structure are 7.46dB and 0.57 dB higher than those of the ordinary track structure respectively, and the A-weighted interior noise is increased by 9.71 dB in comparison with the noise of the ordinary track structure. The GJ-32 fastener-type vibration reduction track structure has a longitudinal and a horizontal vibration of 4.94 dB and 2.88 dB higher than the ordinary track structure respectively, and the interior noise increases by 8.71 dB in comparison with the noise of the ordinary track structure. Through the analysis of third octave and FFT, it is found that the low frequency noise and vibration mainly appear in the steel spring track structure. The 400 Hz - 700 Hz intermediate frequency vibration and noise mainly appear in the GJ-32 type vibration reduction fastener track structure. From this, it can be concluded that the vibration-damping track structure is an important factor that causes vibration and noise anomalies in the vehicles.

**Keywords:** vibration and wave; vibration reduction track structures; steel spring; vibration reduction fastener

随着轨道交通的快速发展,城市轨道交通产生的振动和噪声污染问题也日益突出,国际上已经将振动与噪声列入了七大公害之中。列车在铁轨上行驶时,会引起铁轨和道床的振动,严重时,不但会缩短扣件和轨道的使用寿命,影响车辆的行驶安全;还

会辐射到地铁周围的建筑物<sup>[1]</sup>。为此国内外学者进行了大量的分析研究工作,采用了多种减振、隔振措施,对铁轨和道床以及周围环境的减振达到了良好的效果<sup>[2-6]</sup>。但对车内振动与噪声的控制与研究却较少,近年来,列车运行过程中车内的振动与噪声问题日渐突出,多处运营线路的减振路段出现了车内振动与噪声异常的问题。本文基于此情况,采用现场试验的方法<sup>[7-8]</sup>,对国内某地铁实际运营段线路采用的GJ-32型减振扣件、钢弹簧浮置板和普通扣件3种轨道结构的运行列车进行在线振动与噪声测试。通过对测试结果的对比分析<sup>[9]</sup>,探究不同轨道减振结构对车内噪声与振动的影响,为地铁设计与运营提供参考。

收稿日期:2018-09-13

基金项目:上海申通地铁集团有限公司技术中心合作项目资助(JSKY17R041)

作者简介:夏放(1990-),男,湖南省益阳市人,硕士研究生,主要研究方向为轨道交通减振降噪、杂散电流防治。

E-mail: simmonsxia@163.com

通信作者:王安斌(1961-),男,国家“千人计划”特聘专家,博士生导师。

## 1 现场工况与试验设计

本次试验线路段选择国内某地铁线。此线路段此前出现的主要问题为:列车车内噪声严重,车体振动较大,符合此次试验对线路的要求。试验段线路采用了减振型扣件(GJ-32型扣件)、钢弹簧浮置板和普通扣件3种轨道结构。试验路段包含一段曲线半径为500 m的曲线段,曲线段长度860 m,试验路段总长度为2 km,整个试验路段在隧道中。

试验段车辆采用A型车辆,最大载客量超过2 600人,每辆车长度为23 m,宽度为3.1 m,整车长度约为140 m,最大运行速度为80 km/h。与B型、C型列车相比,具有载客量大、功能先进等特点,尤其适合人口密度、流量大的特大型城市使用,可以解决加挂车厢过多带来的诸多难题,如图1为试验段运行车辆。



图1 A型车

车内振动与噪声测量依据GB/T3449—2011《声学——轨道车辆内部噪声测量》进行测量。采集仪选择8通道的INV3062C数据采集机箱,加速度选择两个5 g的PCB单轴加速度计,分别测量车内垂向与横向加速度,噪声测试布置两个PCB传声器,距车厢地板高度分别为1 m和1.5 m,如图2所示。

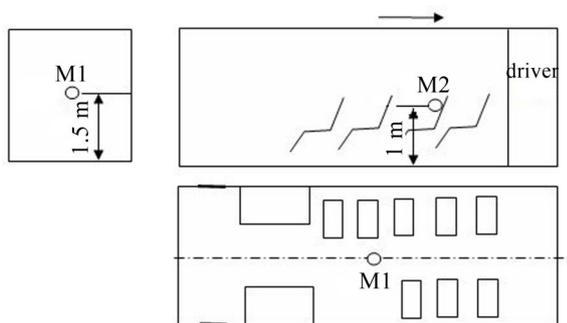


图2 麦克风布置位置

为了保证车内振动与噪声的数据准确性,排除车辆在运行高峰段时外界环境对噪声和振动的影响因素,测试时间选择晚上的最后几趟运行列车。现场测试设备布置如图3,图4所示。

## 2 车内振动数据分析

试验选取晚上人流量较少的末班车进行测试,



图3 加速度传感器



图4 麦克风现场位置

车内的振动采用两个量程为5 g的PCB单轴加速度计进行测量。通过分析在列车在不同轨道结构处的振动情况,对不同轨道结构对车内振动的影响进行分析。

列车在整个试验段区间运行时间为136 s,区间距离为2.00 km;由此可以计算出区间内平均车速为52.9 km/h,即14.7 m/s。以测试起点位置为K0+000计算各扣件的安装里程,GJ-32扣件曲线段安装里程为K0+368~K0+768,普通扣件安装里程为K0+768~K1+068,钢弹簧浮置板的安装里程为K1+068~K1+278。由此可以计算出列车在整个区间段内,在每一组扣件里程中运行的距离及运行的时间。

如图5、图6分别为试验段运行过程中车内的垂向与横向振动全程信号时域图。

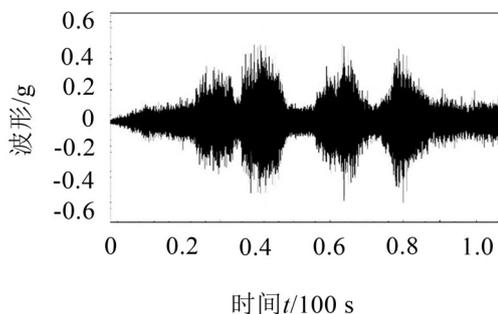


图5 车厢内垂向振动时域图

按照不同轨道结构的安装里程、列车的行驶时间与行车速度可以比较准确地分析出列车在经过不同轨道结构时车内的振动与噪声情况。经简单计算得,试验数据中 $t_1$ :25 s~52.2 s为GJ-32扣件运行路段; $t_2$ :52.2 s~72.6 s为普通扣件运行路段; $t_3$ :72.6 s~86.9 s为钢弹簧路段,除去列车本身长度导致的过

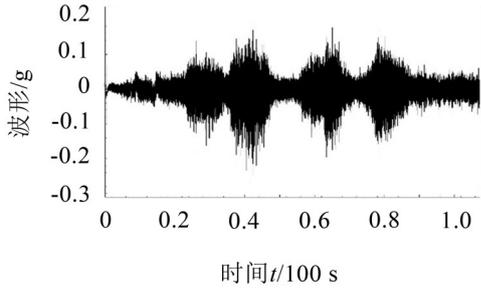


图6 车厢内横向振动时域图

渡时间(9.5 s)即可得到列车全部在相应轨道结构下的行驶时间。

由图5、图6的时域图可以看出列车在经过装有减振轨道结构的路段时,车内的振动明显加大。

图7、图8分别为车内垂向与横向振动1/3倍频程图,车内振动加速度级采用人体z计权方式。

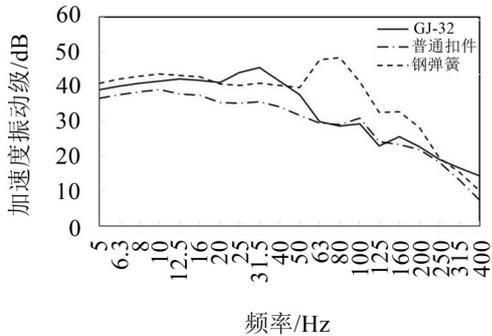


图7 车内垂向振动1/3倍频程

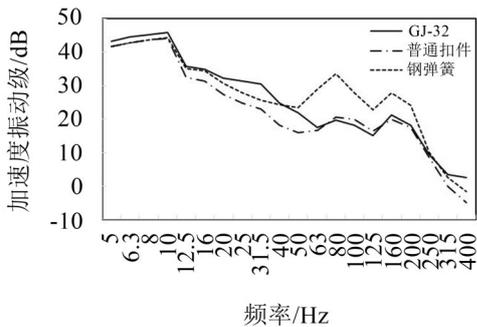


图8 车内横向振动1/3倍频程

从图7、图8中可以看出,车内振动在5 Hz~20 Hz时,3种轨道结构下的车内垂向、横向都振动没有明显区别;减振轨道结构的车内振动整体高于普通轨道结构,其中GJ-32型扣件在20 Hz~40 Hz之间的车内振动能量较大,高于钢弹簧与普通扣件,在31.5 Hz处振动级达到最大;45 Hz~250 Hz区间,钢弹簧轨道结构的车内振动能量较大,并在80 Hz与160 Hz处出现振峰。由此可以看出扣件型减振轨道的主要作用范围在20 Hz~40 Hz之间,钢弹簧浮置板减振轨道的主要作用范围在60 Hz~250 Hz。

3种轨道结构下的总振级如图9所示,从图中可以看出钢弹簧轨道结构下车内的垂向振动总振级最大,GJ-32型扣件的车内横向振动总振级最大。

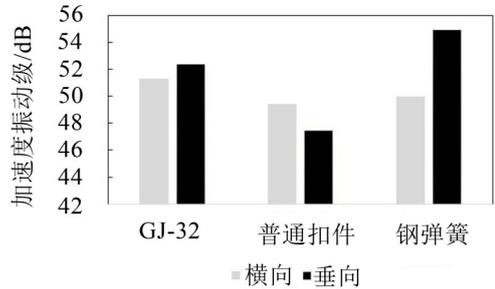


图9 3种轨道结构车内振动总幅值

由表1可以得出,相比普通轨道扣件,GJ-32扣件车内振动总振级垂向增加4.94 dB,横向增加2.88 dB;钢弹簧轨道结构车内振动总振级垂向增加7.46 dB,横向增加0.57 dB。

表1 不同轨道结构下车厢内的振动和噪声

轨道结构	车内垂向振动dB(Z)	车内横向振动dB(Z)	车内噪声dB(A)
GJ-32	52.41	52.31	86.8
普通扣件	47.47	49.43	78.09
钢弹簧	54.93	50	87.8

### 3 车内噪声分析

车内噪声时域图如图10所示,车厢内噪声声压级采用A计权方式。由时域图可以比较直观地看出在列车经过减振轨道结构时,车内的噪声值明显增大。为进一步分析车内噪声信号的频率分布特征,对其在0~1 000 Hz范围内进行FFT分析。

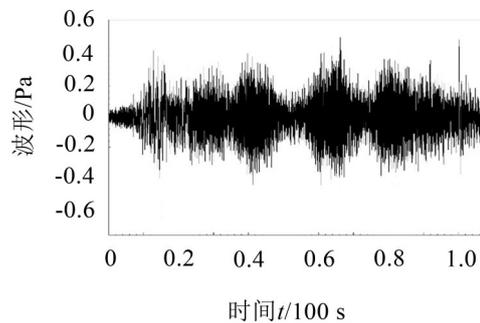


图10 车内噪声时域图

图11为3种轨道结构下噪声信号的自谱FFT。由图11可以看出钢弹簧轨道结构在频率为71.25 Hz和536.25 Hz处出现了峰值,声压最大幅值达到0.63 Pa,由轨道结构可以推测71.25 Hz处的振动可能为道床与钢轨形成的一个局部整体的振动,536.25 Hz对应的则可能是钢轨相对轨道板的振动频率;GJ-32

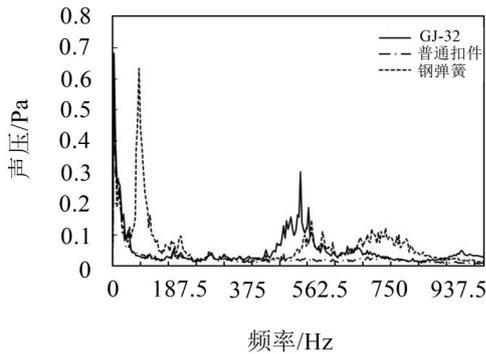


图11 车内噪声测点频谱图

型扣件减振型轨道结构在506.25 Hz处达到峰值,声压最大幅值为0.30 Pa;普通扣件除了在超低频(20 Hz以下)声压级较大外,在低频与中频区间没有明显峰值出现,声压级较低。3种轨道结构下20 Hz的平均声压分别为0.06 Pa、0.04 Pa和0.02 Pa,由此可知钢弹簧轨道结构下的车内平均声压是普通扣件结构的3倍,GJ-32型扣件结构下的车内平均声压是普通扣件结构的2倍。经初步预测,钢弹簧与GJ-32在500 Hz左右的峰值可能与轨道结构处出现的钢轨波磨有关。

图12为测量区间3种轨道结构下车厢内噪声的1/3倍频程。从图中分析可知,低频(50 Hz~125 Hz)噪声可能是由钢弹簧结构道床与钢轨组成的局部整体振动导致;中频噪声(400 Hz~800 Hz)主要由GJ-32型扣件结构处钢轨的振动产生。同时由表1可以看出,减振轨道结构下的车内噪声比普通扣件轨道结构高8 dB以上。其中钢弹簧型减振结构下车内噪声比普通扣件高9.71 dB,GJ-32型减振扣件轨道结构的车内噪声比普通扣件高8.71 dB。

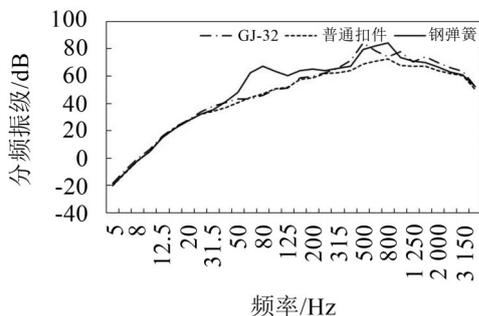


图12 3种轨道结构下车内噪声1/3倍频程

从以上数据分析可以得出,减振轨道结构的车内振动与噪声相比普通轨道结构的车内振动与噪声有明显的增大。其中高等减振结构钢弹簧浮置板道床的车内垂向振动最大,总振级相比普通轨道结构增加7.46 dB;中等减振GJ-32型扣件减振轨道结构的车内横向总振级最大,相比普通轨道结构增加2.88 dB。车内噪声方面,高等减振结构钢弹簧和中

等减振GJ-32型扣件分别比普通轨道结构高出9.71 dB和8.71 dB。由此,可以看出减振型轨道结构在减少振动传入周围建筑物的同时,增大了车内的振动与噪声,对乘客的身心健康造成不利。

从对乘客的身心健康角度考虑,在设计地铁线路时应当适当减少减振轨道的采用,同时还可以采取车内增加吸声材料等措施对车内的噪声环境进行改善。

## 4 结语

本文通过现场试验法分别测量了2种减振轨道结构和普通轨道结构下列车运行时车内的振动与噪声情况。通过对车内振动与噪声数据的倍频程和FFT分析,得到如下结论:

(1) 在车内振动方面,减振型轨道结构的主要振动频率为60 Hz~250 Hz与500 Hz~800 Hz,车内的垂向和横向总振级平均比普通轨道结构高6.2 dB和1.7 dB。

(2) 在车内噪声方面,减振型轨道结构的噪声能量主要集中在低频和中频段。减振型轨道结构的噪声总级值平均比普通轨道结构高出9.21 dB。

(3) 减振等级高的轨道结构和减振等级相对较低的轨道结构相比,车内振动与噪声会更加明显。所以在选择轨道减振方式时候,需要综合考虑地铁运行列车对周围建筑物和车内振动与噪声的影响。

### 参考文献:

- [1] 夏禾. 交通环境振动工程[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [2] 张艳平,杨宜. 城市轨道交通振动与噪声的控制[J]. **城市轨道交通**,2000:43-45.
- [3] 孟光,陈进,蒋伟康,等. 高速轨道交通减振降噪的研究及其关键技术的展望[J]. **机车电传动**,2003.
- [4] COX SJ, WANG A. Effect of track stiffness on vibration levels in railway tunnels[J]. **ASME Journal of Vibration and Acoustics**, 267(2003).
- [5] 楚永萍,唐永明,周劲松. 列车轮轨噪声研究及其控制措施[J]. **铁道车辆**,2011,49(5):1-6.
- [6] 张凯轩,宫岛,周劲松. 钢轨波磨对地铁车内噪声影响的试验研究[J]. **机械设计与制造工程**,2018,47(5):119-122.
- [7] 黄捷,崔宏飞,殷学文. 城市轨道交通车辆车内噪声特性研究[J]. **噪声与振动控制**,2010,30(2):62-65.
- [8] 姜长英. 城市轻轨车辆车内噪声分布规律及降噪措施研究[D]. 大连:大连交通大学,2011.
- [9] 雷晓燕,王全金,圣小珍. 城市轨道交通环境振动与振动噪声研究[J]. **铁道学报**,2003,25(5):109-113.