

文章编号:1006-1355(2015)06-0105-05

不同道床对地铁车内噪声影响特性分析

田建辉^{1,2,3}, 李 兵¹, 简 炼²

(1. 哈尔滨工业大学 深圳研究生院 机械工程与自动化学院, 广东 深圳 518055;
2. 深圳市地铁集团有限公司, 广东 深圳 518055;
3. 西安工业大学 机电工程学院, 西安 710032)

摘 要:通过对中国某城市地铁1号线司机室内噪声测试分析,得到地铁经过普通道床、含橡胶浮置板道床、含钢弹簧浮置板道床和高架承轨台道床时,车内的噪声时域和频域的声压级特性。结果表明,地铁通过四种不同类型道床时,车内噪声声压级出现了绕75 dB~80 dB上下波动的特性,产生的车内噪声主要集中在125 Hz~800 Hz的中低频段内。经过普通道床所产生的噪声声压级为四种道床中最低,经过钢弹簧浮置板道床同橡胶浮置板道床所产生的噪声声压级大小相当,波动幅值交替变化,经过高架承轨台道床产生的噪声呈大锯齿式的波动特征。

关键词:声学;地铁;声压级;普通道床;浮置板道床;高架承轨台道床

中图分类号:U270.6

文献标识码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1335.2015.06.023

Analysis of Metro Interior Noise Characteristics for Different Track Beds

TIAN Jian-hui^{1,2,3}, LI Bing¹, JIAN Lian²

(1. Shenzhen Graduate School, Harbin Institute of Technology, Shenzhen 518055, Guangdong China;
2. Shenzhen Metro Group Co. Ltd., Shenzhen 518055, Guangdong China;
3. School of Mechatronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710032, China)

Abstract : The interior noise in the cab was tested and analyzed in Metro line 1 of a domestic city. The sound pressure level (SPL) characters of the interior noise in time domain and frequency domain were obtained when the train was travelling through the ordinary track bed, rubber floating slab track bed, steel spring floating slab track bed and elevated support rail station track bed. The results indicate that when the metro train is traveling through the above-mentioned four different types of track bed, the SPL of the interior noise fluctuates around 75 dB-80 dB, the interior noise in the metro is mainly concentrated in 125 Hz-800 Hz middle-low frequency band. The SPL of the interior noise for the ordinary track bed is the lowest in the four types of the track bed. The SPLs for the steel spring floating slab track bed and the rubber floating slab track bed are essentially the same, but the magnitude of fluctuation varies alternately. The big saw-tooth wave characteristic of the noise is appeared when the metro train is traveling through the elevated support rail station bed.

Key word : acoustics ; metro ; SPL ; ordinary track bed ; floating slab track bed ; elevated support rail station track bed

地铁交通具有方便快捷、安全准时等特点,在改善城市道路交通方面发挥了重要作用。但是,

地铁带给人们便利的同时,也带来了车内噪声污染,如何降低地铁运行过程中所带来的噪声污染,研究者们提出了很多应对的措施,尤其通过弹性减振轨道的设计来达到降低车内噪声成了目前研究的热点问题^[1-3]。肖安鑫通过对不同钢弹簧浮置板轨道地段车内噪声的对比测试,分析了钢弹簧浮置板轨道对车内噪声的影响^[4]。安容民通过减振效果现场测试,得到了钢弹簧浮置板轨道结构与车体振动加速度及车内噪声之间的关系^[5]。韦红亮等分别采用有限元和现场试验方法从时频域角度对高架钢弹簧浮置板轨道结构的减振特性进行了分析^[6]。樊卫勋基

收稿日期:2015-06-11

基金项目:国家自然科学基金(11302159);

陕西省教育厅专项科研计划项目(12JK0969)

作者简介:田建辉(1979-),男,副教授,硕士生导师,主要研究方向:计算固体力学,CAE工程应用分析,地铁振动与噪声研究。

E-mail: tianjianhui8@hotmail.com

通讯作者:李兵(1971-),男,教授,博士生导师。

E-mail: libing.sgs@hit.edu.cn

于车辆轨道耦合动力学原理建立了浮置板轨道的动力学分析模型,研究车辆运行速度、支座刚度的变化对预制浮置短板轨道系统动力学参数的影响^[7]。

不管对钢弹簧浮置板道床的噪声测试,还是高架段道床对噪声的影响,一直没有涉及不同道床所引起噪声间差异的问题。目前开建的地铁项目,在不同区段中,往往是几种道床的组合,地铁经过不同道床时车内噪声究竟如何分布,不同道床对车内噪声的影响有何规律,这些都是地铁建设过程中急需解决的问题,对地铁建设具有重要的参考价值。本文通过地铁运行经过不同道床时地铁车内噪声的特性分析,将目前广泛采用的四种道床对车内噪声的影响进行了探讨,对目前地铁降噪具有一定的参考价值。

1 测试环境、仪器及测点布置

1.1 测试环境、仪器

本次测试位于中国某城市地铁一号线,所测试的地铁采用四动两拖六辆编组的A型车,总长度为140 m。其中每辆动车重约39 t,每辆拖车重约36 t,最大轴重为16 t,车辆高度为3.8 m,转向架为无摇枕H型焊接结构,设有一系金属橡胶弹簧和二系空气弹簧,起减振降噪作用。

测试频谱分析采用多通道噪声振动测量分析系统HS5660B-X。此系统由声学振动传感器、噪声振动信号调整器、噪声信号前置放大器、噪声振动测量控制分析软件、200 k采集器及测试电缆组成,主要性能指标符合GB/T3241-1998标准和JJG188-2002声级计的规定要求。声压校准器采用HS6020A标准声压94 dB进行校准。PC机采集分析数据。

1.2 测点布置

为了避免客车内乘客声音及广播声音对地铁运行噪声的影响,测试位于司机室内,测点布置于司机室的3个位置,分别为司机室左侧出门走道口处、司机室与客室连接通道内侧及司机座位后部,测点离地铁地板高度为1.2 m,测点处的声压传感器采用粘接固定,保证在地铁运行过程中不出现晃动,测点布置如图1所示。测试开始时,采用声压校准器对每

个声压传感器进行校准,直到灵敏度符合仪器要求方可测试。测试时,司机室内禁止讲话,由于浮置板道床位于部分区段,当地铁运行到浮置板道床时,测试人员通过在测点1处以“浮”声音标记。通过浮置板时以“完”声音标记,地铁启动开始测试,测试时间为100 s。

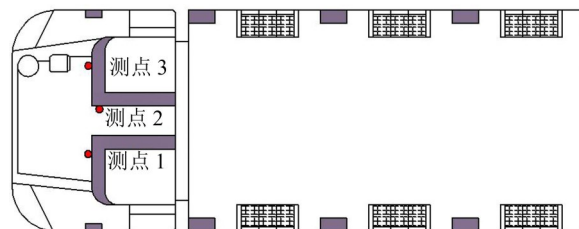


图1 司机室内测点示意图

2 不同道床车内噪声测试

2.1 测试内容

根据地铁一号线上不同道床的特点,取四个站点间的道床为测试区段,分别为大剧院到科学馆站,购物公园到香蜜湖站,深大到桃园站,后瑞到机场东站,此四个区段分别代表四种典型道床,大剧院到科学馆段为普通整体道床段,购物公园到香蜜湖段为含橡胶支座浮置板整体道床段,深大到桃园站为含钢弹簧支座浮置板整体道床段,后瑞到机场东段为高架承轨台整体道床段。测试区段及道床结构类型如表1所示。

2.2 四个区段的结果分析

地铁通过四个区段时,对三测点进行噪声测试,分别得出四个区段三测点处的时域声压级图和1/3倍频声压级图。

图2—图3为大剧院到科学馆段的时域和频域声压级图,大剧院到科学馆段为普通整体道床设计。由图2可见,通过普通道床时,三测点处的噪声声压级变化基本相同,仅地铁起步(0 s~15 s)及减速阶段(80 s~100 s)三测点处的声压级差别较大,具体为测点2处大于测点1处,测点1处大于测点3处。在地铁平稳运行阶段,也就是15 s~80 s之间,声压级出现了绕75 dB上下波动的特性,同时出现了大波绕动到后期的小波平衡。

表1 测试区段及道床结构类型

区段编号	测试区段	道床型式
1	大剧院站—科学馆站	普通整体道床
2	购物公园站—香蜜湖站	含橡胶支座浮置板整体道床
3	深大站—桃园站	含钢弹簧支座浮置板整体道床
4	后瑞站—机场东站	高架承轨台整体道床

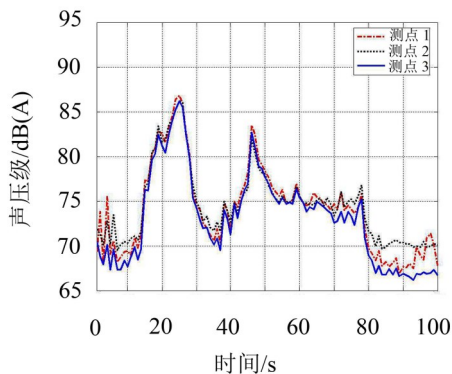


图2 大剧院到科学馆三测点时域声压级图

由图3频域声压级图可以看出,影响三测点声压级最大频率值虽然有所不同,但都位于中低频125 Hz~500 Hz的频段内,也就是说,地铁运行中,在普通道床中,中低频为主要的噪声声压级来源。测点2在125 Hz时出现了声压级极值,而测点1、3频率变化对声压级的影响基本相同。测点2位于通道处,容易形成噪声漩涡,从而形成二次噪声的影响,这是测点2与测点1和3声压级明显不同的原因。

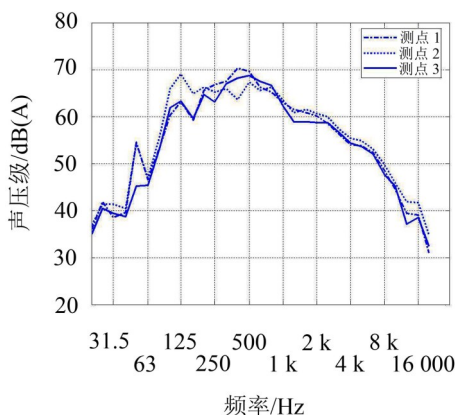


图3 大剧院到科学馆三测点频域声压级图

图4—图5为购物公园到香蜜湖段的时域和频域声压级图,购物公园到香蜜湖段为含橡胶浮置板道床设计。图4中,测试点1处在65 s和72 s之间声压级突增,是测试人员在橡胶浮置板出现时的声音标记所致,也就是65 s和72 s之间为地铁通过橡胶浮置板的区域。三测点处声压级大小变化趋势基本相同,在地铁起步到运行阶段,随着地铁速度的增加声压级增大,到20 s声压级达到第一个极值,然后降到75 dB上下波动,进入橡胶浮置板道床前,噪声以波浪式上升达到了第二个极值,进入浮置板后,噪声声压级以波动式下降,通过浮置板后,声压级稳定于77 dB左右,随着地铁进站速度的降低,声压级变小。

由图5频域声压级图可以看出,除了测点2二次噪声叠加影响外,测点1、3处噪声差异不大,出现的

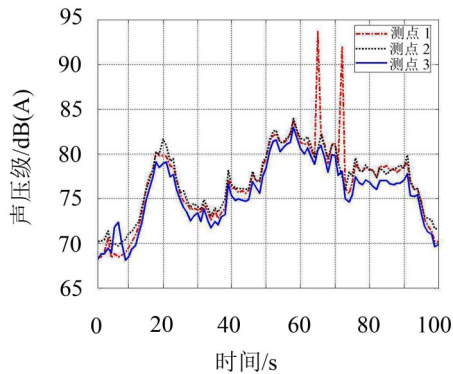


图4 购物公园到香蜜湖三测点时域声压级图

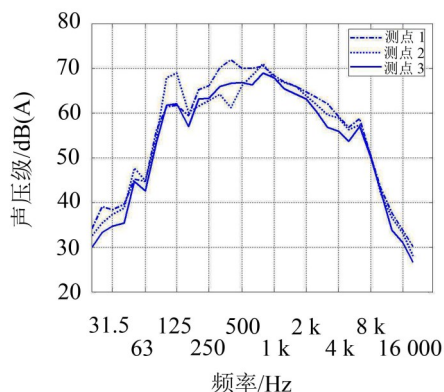


图5 购物公园到香蜜湖三测点频域声压级图

最大声压级位于中低频125 Hz~800 Hz的频段内,也就是说,地铁运行中,在含橡胶浮置板的道床中,中低频是噪声声压级的主要来源。

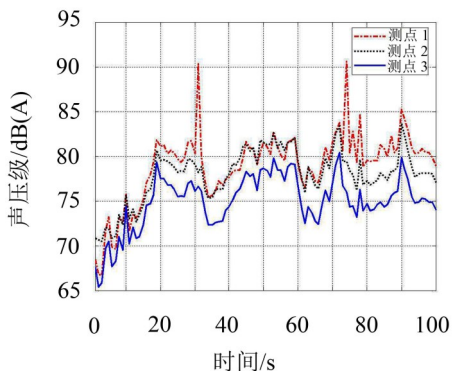


图6 深大到桃园三测点时域声压级图

图6—图7为深大到桃园段的时域和频域的声压级图,深大到桃园段为含钢弹簧浮置板道床设计。图6中,测试点1处在31 s和74 s之间出现了声压级突增,是测试人员在钢弹簧浮置板出现的声音标记所致,也就是说31 s和74 s之间为地铁通过钢弹簧浮置板的区域。三测点声压级图变化趋势相同。总体看,测点1处大于测点2处的声压级,绕80 dB波动,测点2处大于测点3处声压级,绕78 dB波动,测点3处声压级最小,绕75 dB上下波动。地铁运行后,三测点声压级波浪式增加,进入浮置板前,

声压级稳定于一定的声压值,进入浮置板后,声压级出现下降,随后上升再次稳定于一定声压值波动。

由图7频域声压级图可以看出,三个测点影响声压级主要的频率范围位于中频400 Hz~800 Hz频率范围内。另外,在低频100 Hz处也出现了声压级的极大值。可见,当道床中含钢弹簧浮置板道床时,中低频噪声为主要的噪声来源。

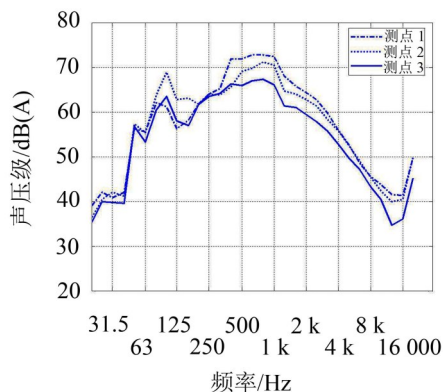


图7 深大到桃园三测点频域声压级图

图8—图9为后瑞到机场东段的时域和频域的声压级图,后瑞到机场东段为高架承轨台整体道床设计。由图8可见,三个测点处声压级值变化相差不大。与前述道床明显不同的是,在高架桥道床运行时,声压级值以较大幅值上下波动变化。30 s前,声压级大波浪式地增加,30 s后,声压级在75 dB附近上下波动,总体呈现大锯齿式的波动特性。

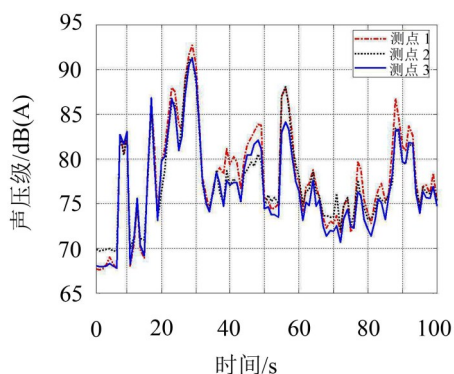


图8 后瑞到机场东三测点时域声压级图

由图9可见,三测点处产生声压级的频率变化基本相同,最大声压级位于中低频400 Hz~800 Hz频段内,低频段对噪声影响较小。可见,地铁运行中,在高架承轨台道床中,中频噪声为车内噪声的主要来源。

2.3 四种道床的结果分析

取四种区段道床比较地铁在这四种道床上运行时三个测点处时域声压级图(如图10—图12所示)。

图10中,地铁通过含橡胶浮置板道床和钢弹簧

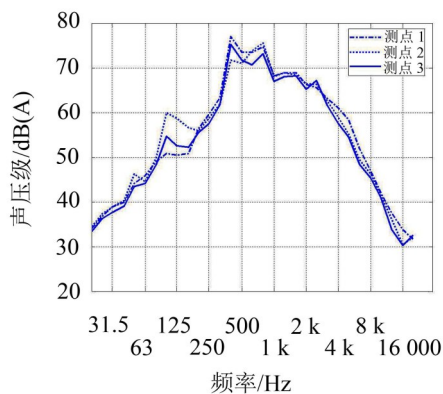


图9 后瑞到机场东三测点频域声压级图

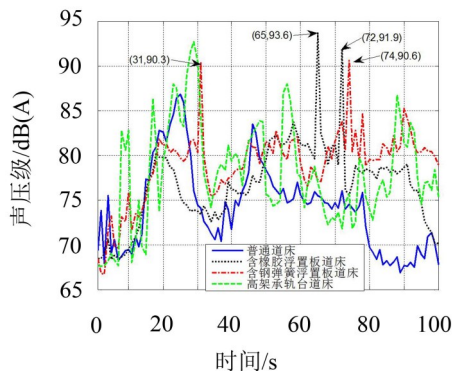


图10 测点1处四种道床的时域声压级图

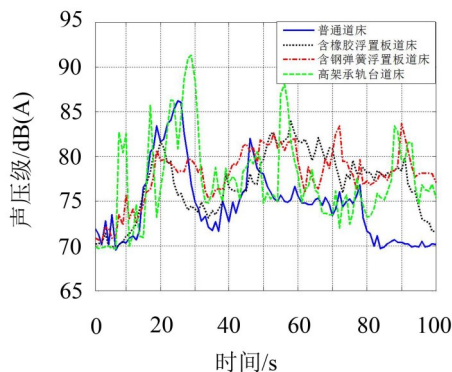


图11 测点2处四种道床的时域声压级图

浮置板道床时,测点1处的四个尖点噪声是受测试人员声音影响,位置如图箭头所示。比较31 s~74 s之间四种道床曲线图,地铁通过普通道床车内噪声声压级比其他三种道床声压级值均要小,这是由于地铁经过普通道床时,所引起的噪声通过普通道床基础向四周传播,而浮置板道床和高架承轨台道床因下部支撑为弹簧或是承轨台,不利于噪声传播。在31 s和74 s之间为经过钢弹簧浮置板道床,前段引起的噪声明显低于高架承轨台上的噪声声压级,后段钢弹簧浮置板道床的声压级又高于高架承轨台的噪声声压级,比较65 s~72 s之间的橡胶浮置板道床和钢弹簧浮置板道床板引起的声压级,两者相比差别不大,大小交替变化,这是由于不管是橡胶浮置

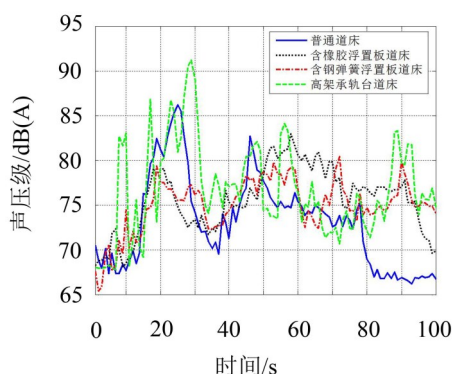


图 12 测点3处四种道床的时域声压级图

板还是钢弹簧浮置板,其根本性的支撑方式没有变化,只是支撑刚度不同而已。高架承轨台上噪声声压级出现大锯齿式的波动特征,这是由于高架承轨台的支撑同浮置板支撑相比刚度大很多,容易引起中高频振动,产生较大的噪声,而承轨台上的噪声不易通过承轨台支撑进行传播,从而引起噪声反射同振动产生的较大噪声相互叠加形成大锯齿式的波动特征。

图 11 和图 12 中的测点 2 和测点 3 处的声压级变化同测点 1 规律类似,都出现了普通道床声压级在四种道床中最小、钢弹簧浮置板道床与橡胶浮置板道床噪声声压级相当且大小交替进行、高架承轨台道床噪声声压级呈现大锯齿式波动的特征。

3 结 语

本文通过对四种道床的地铁车内的噪声测试分析,试图找出四种常用地铁道床引起噪声间的关系,通过研究得出:

(1) 地铁运行于不同道床时,车内声压级出现绕 75 dB~80 dB 上下波动的特性;

(2) 地铁运行通过四种不同类型道床时,所引起的噪声频率位于 400 Hz~800 Hz 中低频段,从普通道床、含橡胶浮置板道床、含钢弹簧浮置板道床到高架承轨台道床,出现了由中低频主导到中频主导的特征变化;

(3) 对于四种不同道床,所表现出来的噪声特性明显不同,普通道床所引起的噪声声压级在四种道床中为最小,钢弹簧浮置板道床同橡胶浮置板道床引起的噪声声压级大小交错变化,高架承轨台道床引起的噪声声压级呈现大锯齿式波动的特征。

参考文献:

- [1] 张小排,刘岩,钟志方. 地铁车内噪声特性[J]. **噪声与振动控制**,2010,30(2):69-71.
- [2] 任海,肖友刚. 地铁车内噪声的成因及控制策略[J]. **铁道车辆**,2009,(4):25-28.
- [3] 张克姝. 地铁 A 型车内装结构对车内噪声的影响分析[J]. **城市轨道交通研究**,2012,(12):50-54.
- [4] 肖安鑫,田野. 钢弹簧浮置板轨道对车内噪声影响的实测与分析[J]. **噪声与振动控制**,2012,32(1):51-54.
- [5] 安容民. 浮置板对地铁列车的振动和噪声影响研究[J]. **山西建筑**,2012,38(21):216-218.
- [6] 韦红亮,练松良,周宇. 高架钢弹簧浮置板轨道减振特性分析[J]. **同济大学学报(自然科学版)**,2012,40(9):1342-1348.
- [7] 樊卫勋. 地铁预制式浮置短板轨道动力仿真分析[J]. **城市轨道交通研究**,2013,(6):58-60.

(上接第 77 页)

参考文献:

- [1] 赵丽娟,马永志. 刚柔耦合系统建模与仿真关键技术研究[J]. **计算机工程与应用**,2010,46(2):243-248.
- [2] 王海涛,彭洁,王丽梅,等. 某型 SUV 座椅抖动的分析[J]. **噪声与振动控制**,2014,34(5):70-73.
- [3] 柯有恩. 汽车动力总成悬置系统性能研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2013:13-14.
- [4] 傅志方,华宏星. 模态分析理论与应用[M]. 上海:上海交通大学出版社,2000:2-10.
- [5] Ren Huili, Wang Xuelin, Hu Yujin. Modal truncation method and its application in vibration analysis of complex

structures[J]. **China Mechanical Engineering**, 2008(8): 889-892.

- [6] 杨亮,吴行让,张硕,等. 汽车怠速方向盘振动控制研究[J]. **噪声与振动控制**,2011,31(5):80-85.
- [7] D Akcay, Perdahcioglu M H M Ellenbroek. Updating the Craig-Bampton reduction basis for efficient structural reanalysis[J]. **International Journal for Numerical Methods in Engineering**, 2011(5): 607-624.
- [8] Singiresu S Rao. 机械振动(第 4 版)李欣业,张明路,译[M]. 北京:清华大学出版社,2009:439-440.